فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی
سال چهارم/ شماره ۱۳/ زمستان ۱۳۹۷/ صفحات ۲۲۷-۱۹۷

مدیریت تقاضای انرژی الکتریکی توسط مصرف‌کنندگان بزرگ صنعتی با استفاده از دسته‌بندی و زیر دسته‌بندی‌های ویژه: مطالعه موردی صنعت سیمان و شیشه

ابراهیم نیکخواه جورشری
کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحدکرج، گروه برق، ایران
eng.nikkhah@gmail.come
رضا عفت نژاد
استادیار دانشکده مکاترونیک، دانشگاه آزاد اسلامی،واحد کرج، گروه برق،ایران (نویسنده مسئول)
reza.efatnejad@kiau.ac.ir
مهدی هدایتی
استادیار دانشکده مکاترونیک، دانشگاه آزاد اسلامی،واحد کرج، گروه برق،ایران
mehdi_hedayati@yahoo.com

استفاده از مفهوم پاسخگوی بار (تقاضا) یکی از روش‌های مؤثر برای بهینه سازی و تعدیل مصرف انرژی الکتریکی است. پاسخ به تقاضای مبتنی بر زمان معمولاً براساس دسته بندی‌های کلی شامل صنعت، کشاورزی، تجاری، مسکونی طراحی می‌شود. به‌دلیل یکسانی تعرفه‌های قیمت‌گذاری عمومی در هر دسته بندی، این روش بعضاً با مشکلاتی مواجه می‌گردد. یکی از مشکلات بارز پاسخ به تقاضای مبتنی برزمان غیر فعال (پسیو)، انتقال بار بیش از حد می‌باشد. دراین مقاله با انجام زیر دسته بندی برای هر دسته و معرفی تعرفه‌های ویژه برای همان زیر دسته‌ها، نوع جدیدی از پاسخ به تقاضای مبتنی بر زمان را ارائه شده است. این مدل جدید علاوه بر بهینه سازی الگوی مصرف زیر دسته، سبب بهبود مصرف کلی ناحیه‌ای که آن زیر دسته نیز قرار دارد، می‌گردد. جهت بررسی و تصدیق روش کار با استفاده از داده‌های واقعی به مطالعه موردی در صنایع شیشه و سیمان پرداخته شده است. الگوریتم‌های ژنتیک و توده ذرات جهت بهینه سازی تابع هدف به‌کار برده شده است. با استفاده از اطلاعات حاصل از ممیزی انرژی در این دو صنعت و با توجه به تقسیم بندی بارها بر مبنای زمان استفاده ملاحظه شده است تعرفه گذاری بر مبنای پاسخ گویی بار موجب جابجایی بار و کاهش مصرف انرژی الکتریکی در صنعت شیشه و سیمان خواهد شد. بررسی‌ها حاکی از آن است که روش پیشنهادی به ویژه در صنایع سه شیفته کاربرد خواهد داشت.

واژگان کلیدی: مدیریت تقاضا، پاسخ به تقاضای فعال مبتنی بر زمان، الگوریتم ازدحام جمعیت، الگوریتم ژنتیک، کارخانه شیشه و سیمان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۳

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

۱. مقدمه

امروزه با پیشرفت ابزارهای اندازه‌گیری کمیت‌های برق می‌توان براحتی فعالیت‌هایی همچون، خواندن و نوشتن اطلاعات، قطع و وصل و تغییر تعرفه‌های نرخ برق به هر دو صورت فعال[۱] و غیرفعال[۲] و همچنین اطلاع رسانی به بهره‌برداران و مشتریان با استفاده از سیستم‌های مخابراتی و برقراری ارتباط میان دستگاه‌های اندازه‌گیری با مرکز جمع‌آوری اطلاعات[۳] (DCU) مجموعه‌ای از دستگاه‌های فعال در همان حوضه با استفاده از روش‌های ارتباطی همچون، فرکانس رادیویی[۴] (RF)، انتقال بر روی خط قدرت[۵] (PLC) و غیره انجام داد.

مدیریت تقاضا انرژی، همچنین به عنوان مدیریت سمت تقاضا[۶] (DSM) و یا پاسخ طرف تقاضا[۷] (DSR) شناخته شده است (زانگا، ۲۰۱۷). اصلاح تقاضای مصرف‌کنندگان برای تامین انرژی از طریق روش‌های مختلف از جمله مشوق‌های مالی و تغییر رفتار از طریق آموزش است. معمولاً، هدف از مدیریت طرف تقاضا، تشویق مصرف‌کنندگان به استفاده از انرژی کمتر در طول ساعات اوج، و یا به حرکت زمان استفاده از انرژی را به بار خارج از ساعات اوج مانند شب و تعطیلات آخر هفته می‌باشد(فریوغلو، ۲۰۱۶). مدیریت اوج تقاضا لزوماً کاهش کل مصرف انرژی نیست، اما به منظور کاهش نیاز برای سرمایه‌گذاری در شبکه‌ها و یا نیروگاه‌ها برای برطرف کردن نیازهای ساعات اوج انتظار می‌رود. به عنوان مثال استفاده از واحد ذخیره‌سازی انرژی برای ذخیره انرژی در ساعات غیر اوج و از همان انرژی ذخیره شده را در طول ساعات

1. Active
2. Passive
3. Data Center unit
4. Radio Frequency
5. Power Line Carrier
6. Demand Side Management
7. Demand Side Response

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

اوج استفاده می‌شود. کارایی قابل اعتماد از سیستم برق، نیاز به تعادل کامل بین عرضه و تقاضا را در زمان واقعی فراهم می‌کند. این تعادل به آسانی قابل دستیابی نیست، با توجه به این که هر دو سطح عرضه و تقاضا می‌تواند به سرعت و غیر منتظره به علل بسیاری، مانند خاموشی اجباری واحد تولید، قطع خط انتقال و توزیع برق و تغییرات ناگهانی بار تغییرکند. زیرساخت سیستم برق نیاز به سرمایه‌گذاری زیادی دارد، پاسخ تقاضای طرف (بار) یکی از منابع ارزان تر برای استفاده از سیستم براساس فلسفه جدید است (خرباچ،۲۰۱۶). پاسخ تقاضا، شامل تمام اصلاحات عمدی الگوی برق مصرفی توسط مشتریان نهایی که تصمیم به تغییر زمانی، تغییر سطح تقاضای لحظه‌ای یا کل مصرف برق دارند، می‌باشد. در حال حاضر، پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان غیرفعال[1] (PTB) به‌صورت عمده استفاده می‌شود (آگرل، ۲۰۱۶). در پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان غیرفعال، معمولاً بهره‌برداران طرح قیمت‌گذاری کلی را بدون طبقه‌بندی مصرف‌کننده در جزئیات (یا با طبقه‌بندی خشک، به عنوان مثال، صنعتی، تجاری و مشتریان مسکونی) انجام می‌دهند. معمولاً مصرف‌کنندگان با ویژگی ساده بار طبقه‌بندی می‌شوند. تحت پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان غیرفعال، بهره‌برداران به ندرت تفاوت‌های رفتاری در میان دسته‌های رفتاری مختلف را یاد می‌گیرند. با توجه به تغییرپذیری ساختار مشتریان، اثر قیمت‌گذاری پویا در انتقال بار به راحتی کاهش می‌یابد. تمامی مصرف‌کنندگان صنعتی ممکن است در مدت زمان مشابه با هم انرژی مصرف کنند و این منجر به پیک بار جدید گردد. در مقابل، پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان فعال[2](ATB) یک چارچوب جدید است (زهانگ، ۲۰۱۶). در پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان فعال، مصرف‌کنندگان به دسته‌های مفصل تر دسته‌بندی می‌شوند. بهره‌برداران یک زیر دسته هدف از دسته مذکور، انتخاب می‌کنند و تمایل به مطالعه جزئیات رفتاری هر دسته در زیر دسته هدف برای پتانسیل پاسخ به تقاضا دارند. طرح قیمت‌گذاری مشخص شده، برای کل زیر دسته

1. Passive Time-Based Demand Response
2. Active Time-Based Demand Response

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

هدف و یا برای هر دسته بندی در زیر دسته هدف توسط تجزیه‌وتحلیل رفتاری مربوطه برای بهترین ویژگی‌های بار تولید می‌شود. تحت پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان فعال، مصرف‌کنندگان از گروه هدف می‌تواند یک یا بیشتر از طرح‌های قیمت‌گذاری طراحی شده مشخص را به‌دست آورند(چو،۲۰۱۶). از سوی دیگر، بهره‌برداران به یک مشخصه بار بهتر دست خواهند یافت. درهنگام رو به رو شدن با تغییر ساختار مصرف‌کنندگان، بهره‌برداران می‌توانند در ایجاد یا به‌روزرسانی طرح‌های قیمت‌گذاری برای بخشی از مصرف‌کنندگان به غیر از گروه کلی مشتریان اقدام کنند. دراین مقاله، بهترین طرح رفتاری[1](BBS) تحت تعرفه‌های جدید و برآورد نگرشی مصرف‌کنندگان دسته منتخب به تفصیل شرح داده می‌شود. داده‌های به‌دست آمده در ارتباط بین بهره‌برداران و مصرف‌کنندگان دسته منتخب نیز توصیف شده است. مطالعه موردی عددی در کارخانه سیمان وشیشه، از جمله حصول داده‌ها واقعی از ارتباطات نزدیک با مصرف‌کنندگان و شبیه‌سازی مدل فراهم می‌کند. با عنایت به امکانات موجود در دستگاه‌های اندازه‌گیری هوشمند، می‌توان به سهولت به تک تک مشتریان دسترسی داشت و می‌توان تعرفه ویژه‌ای برای هر یک از مصرف‌کنندگان منتخب هر دسته بدون نیاز به تغییر درنرخ تعرفه‌های عمومی برای سایرین، تعریف و اعمال نمود. از نوع آوری‌های این مقاله می‌توان مرار زیر را برشمرد:

- زیردسته بندی هر دسته با توجه به شرایط ویژه همان دسته (مثال بر حسب نوع صنعت، مقدار برق مصرفی، سیستم تولیدی چند شیفت کاری و غیره...).
- انتخاب دسته و زیر دسته‌های هدف و انتخاب تعرفه ویژه مختص همان زیر دسته .
- بررسی تغییرات رفتاری زیردسته هدف تحت تعرفه اختصاصی و تعیین بهترین طرح رفتاری برای همان زیر دسته.

1. Best Behavioral Scheme

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

- بررسی مطالعه موردی با استفاده از داده‌های واقعی در صنایع سیمان و شیشه و به‌کارگیری زمان استفاده
- مقایسه بهینه سازی تابع هدف با الگوریتم‌های ژنتیک و توده ذرات.
- ارایه نتایج که نشاندهنده بهینه سازی در هردو صنعت سیمان و شیشه که قابل تعمیم به دیگر صنایع نیز می‌باشد.

۲. پیکربندی پاسخ تقاضای فعال مبتنی بر زمان

۲-۱. ساختار

در روش سنتی پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان یا پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان غیرفعال، تعرفه قیمت‌گذاری درکلیه دسته‌بندی‌ها و برای تمامی سطوح ولتاژ یا مصرفی، پسیو ارائه می‌گردد. مصرف‌کنندگان می‌بایست، خودشان را بامنحنی قیمت ارائه شده، تطبیق دهند. به‌دلیل دسته بندی‌های کلی و همچنین، عدم رعایت جزئیات در هر دسته، ملاک قیمت‌گذاری مبتنی بر گروه‌های بزرگ مصرف‌کننده می‌باشد. مشتریان دسته‌های مختلف، با مقدار مصرف گوناگون، معمولاً از یک قیمت یکسان برای همان سطح ولتاژ رنج می‌برند. به‌دلیل منحنی قیمت‌گذاری یکسان به یک دسته مشابه از مشتریان، مشکل انتقال بار بیش از حد به‌وجود می‌آید. به‌طوری که، تمامی مصرف‌کنندگان، تمایل به انتقال مصرف برق خود به پایین ترین قیمت از زمان استفاده (TOU) [1] دارند (البادی، ۲۰۰۸)، که این خود به یک منحنی بار روزانه جدید منتج می‌شود. در قیاس با پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان غیرفعال، پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان فعال به بهره‌برداران این امکان را می‌دهد که بتوانند تعداد کمی از مصرف‌کنندگان که دارای مصرف بالای برق باشند را انتخاب کرده و یک زمان استفاده ویژه به آنها پیشنهاد کنند (فرک، ۲۰۱۵).

1. Time of Use

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

پاسخ تقاضای فعال مبتنی بر زمان جهت انتخاب زیر دسته‌های هدف می‌بایست خصوصیات زیر را پوشش دهد:

۱. زمان استفاده مستقل جدید شامل یک منحنی قیمت متفاوت نسبت به منحنی اصلی می‌باشد، مصرف‌کنندگان منتخب هر دسته، برای انتقال مصرف برق خود به دوره زمانی دیگر نسبت به زمان استفاده سنتی هدایت می‌شوند (آگرل، ۲۰۱۶).

۲. مصرف‌کنندگان منتخب هر دسته، مصرف‌کنندگان پاسخ به تقاضا هستند. به‌وسیله تجزیه‌وتحلیل برروی بررسی اطلاعات یا تاریخچه اطلاعات مصرف آنها، مصرف‌کنندگان منتخب تمایل بیشتری برای مشارکت در پاسخ به زمان استفاده جدید دارند(مدیریت تقاضا استالیا، ۲۰۱۰).

۳. مصرف برق هر مصرف‌کننده منتخب بزرگ‌تر از مصرف‌کنندگان غیر منتخب پاسخ به تقاضا می‌باشند.

خصوصیت نخست، تنها یک بخش از مصرف‌کنندگان هر دسته را به یک دوره انتقال مصرف هدایت می‌کند، که تأثیر انتقال بار بیش از حد را کاهش می‌دهد. دو ویژگی دیگر، انتخاب بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان باعث کاهش عملیات جمع آوری اطلاعات، با حداکثر تأثیر بر روی منحنی مصرف می‌گردد. برای بهره‌برداران توزیع، معمولاً زیر دسته‌های بزرگ مصرف برق زیاد و تعداد کمی از مصرف‌کنندگان را شامل می‌شوند. ارائه یک نرخ جدید برای بهره‌برداران برق هر زیر دسته منتخب یک روش به‌منظور تشویق تغییرات بار است. پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان فعال یک سبک جدید ارتباطی بین بهره‌برداران و مشتریان معرفی می‌کند. زیردسته مناسب را انتخاب می‌گردد، آن را به یادگیری ویژگی رفتاری هر زیردسته منتخب، با قدرت تجهیز اصلی و قیود رفتاری قادر می‌سازد. بنابراین، قیمت مشخص برای مصرف‌کنندگان، از هر زیر دسته منتخب را با در نظر گرفتن ویژگی‌های رفتاری آنها در دسترس می‌گذارد. شکل(۱) پیکربندی پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان فعال برای مصرف‌کنندگان را نشان می‌دهد. در شکل (۱)، به هر زیر دسته منتخب، یک قیمت مشخص اختصاص داده می‌شود. هنگامی که تنوع

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

ساختارمشتری یا انتقال بیش از حد قدرت رخ دهد، بهره‌بردار ممکن است قیمت مربوطه را برای دسته جدید و یا دسته‌ای که مقدار مصرف‌کننده‌اش در حال تغییر است، تنظیم کند. تأثیر بسیار بیشتری بربخش کوچکی از کاربران نسبت به تمامی گروه‌های مصرف‌کننده در پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان غیرفعال متمرکز شده است (آژانس انرژی، ۲۰۰۳).

۲-۲. قابلیت‌های پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان فعال برای هر دسته

اثر طرح پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان فعال عمیقاً بر روی ویژگی‌های رفتاری و ویژگی‌های بار پایه، متکی است. ارتباط بیشتر و حصول داده‌ها قبل از به‌کارگیری پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان فعال ضروری هستند. با ملاحظات مشخص شده از زیردسته‌های مربوطه، بار زیردسته، توسط ارائه قیمت ویژه، و همچنین بارکل کلیه مشتریان بهبود می‌یابد. پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان فعال برای بهبود کل بار تعریف شده است. چهار معیار جهت بهبود انتخاب می‌شوند (قربانی،۲۰۱۶):

۱. تغییر اوج بارکل

۲. تغییر واریانس بار کل

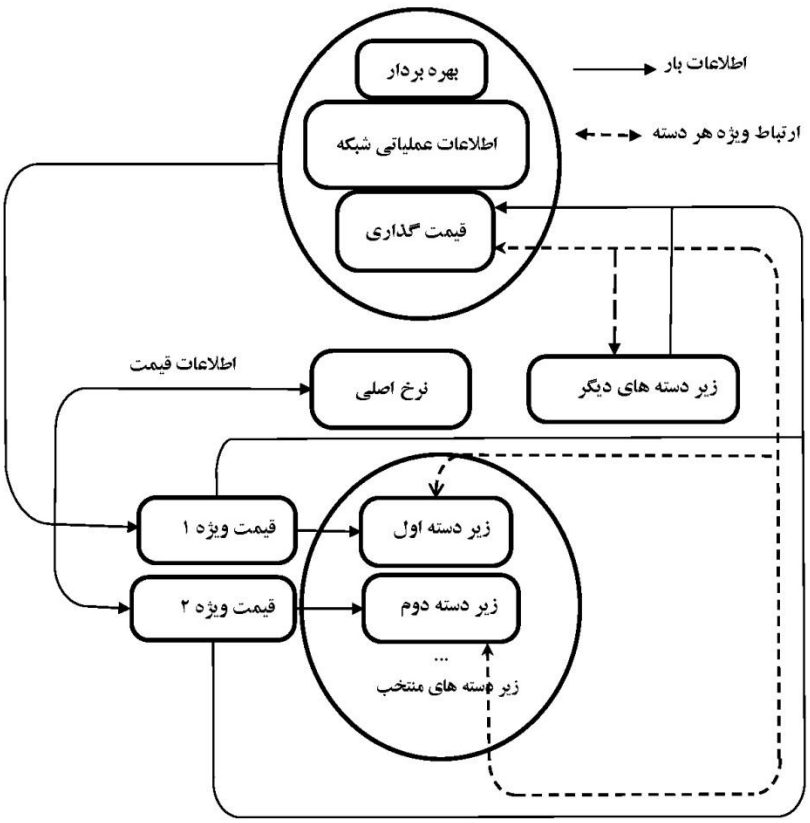
۳. تغییر تفاوت اوج تا فرود بارکل

۴. تغییر مصرف .

چهار مرحله برای روش‌های تجزیه‌وتحلیل پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان فعال وجود دارد:

۱. جمع آوری اطلاعات زیر دسته منتخب؛ ۲. مدل سازی ساده زیر دسته هدف؛ ۳. ارائه قیمت ویژه زیردسته هدف؛ ۴. تجزیه‌وتحلیل قابلیت‌های پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان فعال.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]



شکل ۱. ساختار پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان فعال

۳. مدل کردن دسته هدف با تأثیر زمان‌بندی زمان استفاده برای پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان فعال

۳-۱. تأثیر قیمت بر رفتار هر دسته

مصرف‌کنندگان هر دسته دنبال سود محصول خود هستند. قبض برق یکی از هزینه سرمایه‌گذاری شده است. هر طرح از تنوع رفتاری یک تغییر هزینه‌های بالقوه برای مصرف‌کنندگان را نشان می‌دهد. اگر هزینه‌های بالقوه تا حدودی توسط یک طرح رفتاری جدید کاهش یابد، مصرف‌کننده صنعتی رفتارهای خود را به روز رسانی خواهد کرد. در روش

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

تجزیه‌وتحلیل پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان فعال، در صورت تمایل مصرف‌کنندگان به ارائه برنامه رفتاری جدید خود، تحت منحنی قیمت جدید، نیازی به الزام مدل پاسخ رفتاری بر روی زمان استفاده نیست. این دقیق ترین روش برای به دست آوردن وضعیت بار تحت قیمت جدید است. یک سناریو عادی که در مدل سازی رفتاری توسط بهره‌برداران برای پیدا کردن یک طرح بهینه شده به‌کارگرفته می‌شود. این طرح رفتاری می‌تواند با کمترین هزینه بالقوه با همان مصرف برق رفتار سنتی برای دستگاه‌ها، با ارائه همان قابلیت تولید روزانه، به‌دست آید. با این سناریو، بهره‌برداران قصد پیدا کردن راهی برای انتقال نیرو با تضمین همان قابلیت تولید (میزان تولید محصول) مصرف‌کنندگان دارند. این طرح که می‌تواند با کمترین هزینه بالقوه با همان مصرف برق به‌دست آید، به نام "بهترین طرح رفتاری" است.

۱. به روز رسانی دستگاه‌های مؤثر[1]: اگر هزینه‌های بالقوه بهترین طرح رفتاری به طور قابل توجهی پایین‌تر از طرح فعلی باشد، مصرف‌کننده صنعتی برای خرید یا به‌روزرسانی تجهیزات خود اقدام خواهد نمود. براساس این نگرش، سود تشویقی به اندازه کافی برای ترویج سرمایه‌گذاری به‌منظور بهره‌وری انرژی بالاتر، قوی است.

۲. برنامه‌ریزی مجدد عملیات[2]: اگر هزینه‌های بالقوه بهترین طرح رفتاری متعارف پایین‌تر از طرح فعلی باشد، مصرف‌کننده صنعتی برنامه ریزی مجدد طرح عملیاتی خود را با مد نظر قرار دادن آن بهترین طرح رفتاری انجام خواهد داد. براساس این وضعیت، انگیزه مفید ضعیف‌تر از "دستگاه به روز رسانی انرژی کارآمد" است و مصرف‌کنندگان برنامه‌ریزی مجدد طرح را تنها برای سرمایه‌گذاری کمتر ترجیح می‌دهند.

1. Update energy efficient device
2. Reschedule operation

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

۳. عادی ماندن[1]: هنگامی که هزینه‌های بالقوه بهترین طرح رفتاری یک سود قابل توجهی را در مقایسه با طرح فعلی تولید نمی کند، مصرف‌کننده صنعتی رفتار خود را تغییر نخواهد داد.

۴. کاهش عملیات[2]: هنگامی که قیمت جدید برق داده می‌شود، هزینه‌های بالقوه بهترین طرح رفتاری بسیار بالاتر است. سود مصرف‌کننده، به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. بنابراین، مصرف‌کننده ممکن است کاهش و یا تعلیق عملیات خود را انتخاب نماید. شکل(۲) این چهار نگرش گسسته را نشان می‌دهد.

در شکل(۲)، فلش مورب نشان دهنده وضعیت مصرف‌کننده است. اگر هزینه‌های بالقوه بهترین طرح رفتاری کمتر از اینکه در "نقطه رفتاری بعدی" باشد، مصرف‌کننده در منطقه با هاشور شطرنجی سبز قراردارد، که در نگرش "به روز رسانی دستگاه مؤثر" است. اگر هزینه‌های بالقوه بهترین طرح رفتاری بین دو "نقطه رفتاری بعدی" و "نقطه تغییر زمان" باشد، مصرف‌کننده در منطقه با هاشور مورب آبی قراردارد، که در نگرش "برنامه ریزی مجدد عملیات" است. اگر هزینه‌های بالقوه بهترین طرح رفتاری بین "نقطه تغییر زمان" و "نقطه کاهش"باشد، مصرف‌کننده در نگرش "عادی ماندن" است. اگر هزینه‌های بالقوه بهترین طرح رفتاری بزرگ‌تر از "نقطه کاهش" باشد، هاشورآجری قرمز، مصرف‌کننده در نگرش " کاهش عملیات" است. " به روز رسانی انرژی کارآمد دستگاه" و یا "کاهش عملیات" زمانی‌که هزینه‌های بالقوه به طور قابل توجهی بزرگ‌تر و یا کوچک‌تر است، اتفاق می‌افتد.

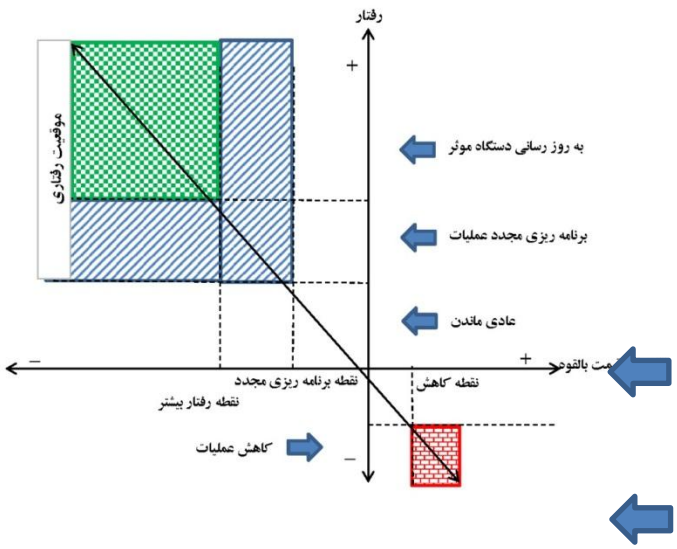
۳-۲. مدل سازی مبتنی بر عامل دسته برای پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان فعال

مدل مبتنی بر عامل متعلق به مدل‌های محاسباتی برای شبیه‌سازی کنش‌ها و تعاملات عوامل مستقل با توجه به ارزیابی اثر آنها بر روی سیستم به عنوان یک مجموعه می‌باشد. در مدل‌سازی

1. Keep usual
2. Reduce operation

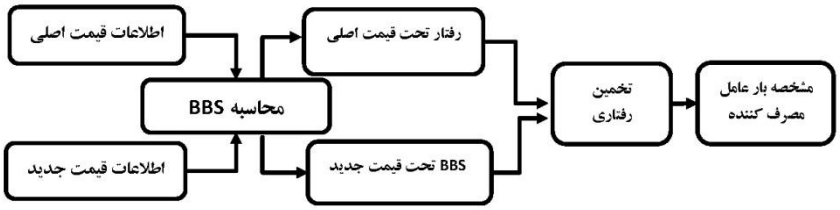
[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

مصرف‌کننده هر دسته، هر عامل مصرف‌کننده نشان دهنده یک واحد و یا یک مصرف‌کننده تنها است که می‌تواند عملیات خود را به طور مستقل توسط اطلاعات قیمت، برنامه ریزی کند. شکل(۳) ساختار عملیاتی مدل عامل مصرف‌کننده را معرفی می‌کند. در شکل (۳)، عامل مصرف‌کننده یک انتخاب از قیمت‌های جدید دریافت می‌کند و ابتدا، آن بهترین طرح رفتاری زیر قیمت کاندید را پیدا خواهدکرد و هزینه بالقوه بهترین طرح رفتاری را تخمین می‌زند. اگر هزینه‌های بالقوه کوچک‌تر از این است که در نقطه برنامه ریزی مجدد باشد، عامل مربوطه، تعرفه قیمت جدید را انتخاب خواهد کرد و تغییر رفتار می‌دهد. در این حالت، خروجی عامل مشخصه بار بهترین طرح رفتاری خواهد بود. اگر هزینه‌های بالقوه بزرگ‌تر از آن در نقطه برنامه‌ریزی مجدد باشد، عامل مربوطه تعرفه قیمت اصلی را انتخاب خواهدکرد و رفتار را تغییر نمی‌دهد. در این حالت، خروجی عامل به طور عادی حفظ می‌شود. با ساختار عامل مصرف‌کننده همان‌گونه که در شکل (۳) نشان داده شده است. ساختار سیستم شبیه‌سازی چند عامل برای نگاشت رابطه بین منحنی قیمت و بار در شکل(۴) نشان داده می‌شود.

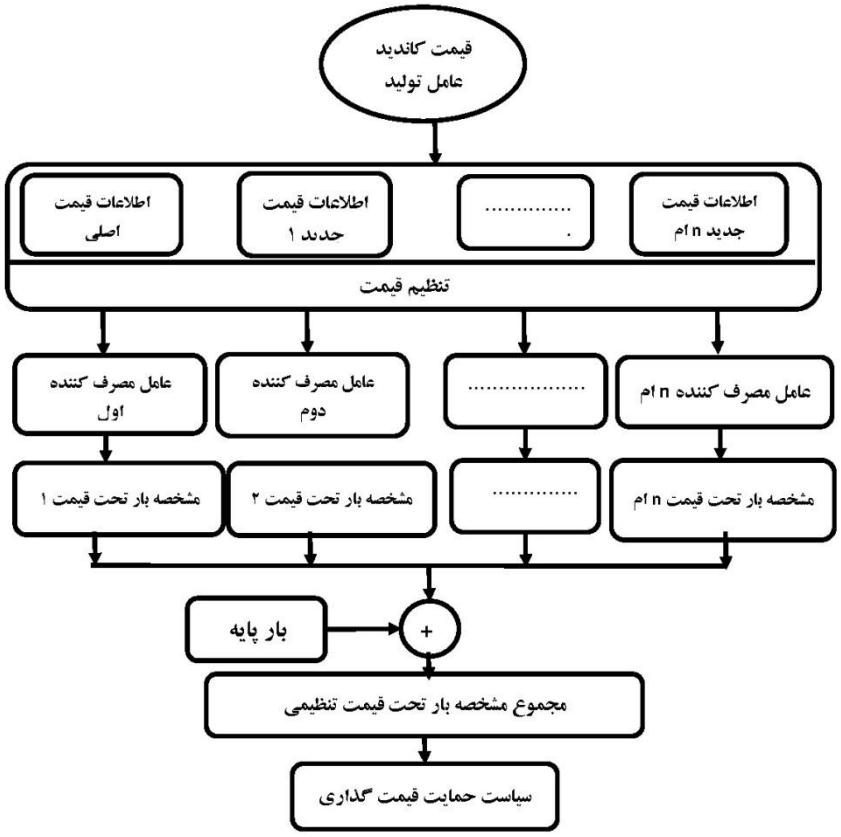


شکل ۲. نگرش تغییرات هزینه‌های بالقوه تحت برخی از قیمت‌های برق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]



شکل ۳. ساختار عملیاتی مدل عامل مصرف‌کننده



شکل ۴. ساختار سیستم شبیه‌سازی چند عامله برای ترسیم رابطه بین قیمت و منحنی بار

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

از شکل(۴)، اطلاعات قیمت‌های کاندید به هر عامل مصرف‌کننده به عنوان مجموعه قیمت ارسال می‌شود. هر قیمت در مجموعه قیمت مطابق با مراحل نشان داده شده در شکل(۴) تهیه خواهد شد و یک مجموعه بار مربوط به مجموعه قیمت تولید خواهد شد. در مجموعه بار، هر منحنی بار، بار عامل تحت عنصر قیمت مربوطه در مجموعه قیمت است. با مجموعه‌های بار، از تمام عوامل و بار پایه از مصرف‌کنندگان دیگر، یک مجموعه بارکل با هر عنصر به عنوان کل بار تخمینی، تولید می‌شود. عنصر قیمت مربوطه به عنوان یک تعرفه پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان فعال اجرا شده است. بنابراین، همان‌طورکه شکلهای (۳) و (۴) ارتباط بین قیمت و بار را از طریق مدل‌ها توصیف می‌کنند.

٤. الگوی پیشنهادی

تابع هدف بهترین طرح رفتاری: ساختار مدل پیشنهادی همان‌طور که در شکل(۳) نشان داده شده است، بر این فرض استوار است که هر عامل مصرف‌کننده ابتدا بهترین طرح رفتاری را با توجه به قیمت جدید برای رسیدن به کمترین هزینه بالقوه شناسایی می‌کند. بنابراین، محاسبه بهترین طرح رفتاری یک حداقل سازی هزینه بالقوه با کنترل ماشین آلات را ارائه می‌دهد. معادله(۱) تابع هدف بهینه‌سازی را نشان می‌دهد که در آن تغییرات هزینه بالقوه مصرف‌کننده صنعتی به دو بخش متشکل از تغییرات معمولی قبض برق روزانه و تغییرات معمولی حقوق و دستمزد روزانه تجزیه می‌شود:

$$Min: \ Cost^{1} = \left[PPC^{2} - PPCo^{3}\right] + \left[HC^{4} - HCo^{5}\right] \qquad (1)$$

۱. تغییرات هزینه های بالقوه، عامل مصرف کننده از تعرفه اصلی به تعرفه های جدید

۲. هزینه برق مصرفی روزانه عامل مصرف کننده تحت تعرفه های جدید

۳. هزینه برق مصرفی روزانه عامل مصرف کننده تحت تعرفه اصلی

۴. مجموع هزینه های انسانی،تحت تعرفه های جدید

۵. مجموع هزینه های انسانی،تحت تعرفه های اصلی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

بخش نخست، تفاوت بین قبض اصلی برق (PPC0) و قبض با قیمت جدید (PPC) است. بخش دوم، تفاوت بین حقوق و دستمزد اصلی کارگران که پرداخت می‌شود (HC0) و پرداخت حقوق و دستمزد با قیمت جدید (HC) است. وزن قبض برق و حقوق و دستمزد در اینجا یکسان در نظر گرفته شده است. بنابراین، به‌دلیل عدم تغییر وزن، تأثیر تغییر قبض برق یا تغییر حقوق و دستمزد یکسان است. جزئیات صورتحساب برق با قیمت جدید توسط روابط (۲)، (۳) و(۴)،که درآن مرحله زمانی ۱ دقیقه فرض می‌شود. رفتار یک دستگاه خاص در دوره معین به عنوان یک احتمال روشن شدن تعریف شده است. (ON_Pro_{ti}[۱]) از(۳)، وضعیت کار منطقی دستگاه i ام در مرحله زمانی t (Sta_{ti}[۲]) از تابع تصادفی در(ON_Pro_{ti}) تولید می‌شود. از(Sta_{ti}) و قدرت دستگاه ($M - Pow_i$[۳]) ، (۲) صورتحساب با قیمت داده شده از(۴) را محاسبه می کند. از(۲)، (۳) و(۴)، قبض برق(PPC) تابع رفتاری است.

$$PPC = \sum_{t=1}^{1440} \left(P_t^{۴} \times A \right) = \sum_{t=1}^{1440} \left(P_t \times \frac{\sum_{i=1}^{N} M_{pow_i} \times Sta_{ti}}{60} \right) \quad (۲)$$

$$Sta_{ti} = random(ON - por_{ti}) \quad (۳)$$

$$price = \left(P_1;\ P_2; \cdots P_t; \cdots; P_{1440}\right)^{۵} \quad (۴)$$

۱. احتمال روشن شدن دستگاه i ام، در مدت زمان t.

۲. وضعیت کارکرد دستگاه i ام، در مدت زمان t پارامتر منطقی

۳. برق عملیاتی دستگاه i ام

۴. قیمت برق در مدت زمان(t)

۵. منحنی روزانه قیمت خرده فروشی برق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

در رابطه (۲)، A نشان دهنده قدرت مصرف برای دستگاه i ام در t دقیقه است. ۶۰ به معنی ۶۰ دقیقه در ۱ساعت وجود دارد. ۱۴۴۰ به معنی ۱۴۴۰ دقیقه در یک روز است. قدرت واقعی دستگاه به دو عامل بستگی دارد:

۱. دستگاه می‌بایست توسط کارگران در برنامه تولید روشن شده باشد.

۲. قدرت زمانی که دستگاه روشن شده است.

(ON_Pro_{ti}) نشان دهنده فاکتور اول و(M_{pow_i}) فاکتور دوم است. در عمل، (M_{pow_i}) مربوط به مقدار مواد خام در حال پردازش و یک مقدار ثابت نیست. رابطه مدل سازی بین برق و مقدار مواد اولیه موردنیاز مصرف‌کنندگان برای ارائه جزئیات تولیدشان انتخاب شده است. جزئیات پرداخت حقوق و دستمزد تحت قیمت جدید داده شده است، (۳)،(۵)و(۶). کارگران مورد نیاز یک دستگاه خاص در دوره‌های مختلف یک روز، عمیقا به برنامه عملیاتی دستگاه مرتبط می‌باشند. بنابراین، با ارتباط عمیق از مصرف‌کننده صنعتی، رابطه بین رفتارها (ON_Pro_{ti}) و تعداد کارگران (NHC_{ti}) را می‌توان با استفاده از داده‌های آماری نظر سنجی خلاصه کرد. واحد حقوق و دستمزد پرداخت شده در زمان t برای دستگاه i ام توسط سیاست‌های دولت تنظیم می‌شود. بنابراین، کل حقوق و دستمزد پرداخت شده با قیمت جدید همچنین تابعی از رفتار(ON_Pro_{ti}) است. واضح است که تفاوت کل حقوق و دستمزد پرداخت شده ممکن است با دو شرایط ناپدید شود: ۱. حقوق و دستمزد در تمام دوره زمانی در یک روز ثابت باشد. ۲ . مجموع زمان "روشن بودن" تمام دستگاه‌های مرتبط ظرف مدت یک روز همان حفظ شود. اگر این دو شرط رخ دهد، بخش حقوق و دستمزد را می‌توان از تابع هدف حذف نمود.

$$HC = \sum_{t=1}^{N} \sum_{t=1}^{1440} {}^{۱}UHC_{ti} \times {}^{۲}NHC_{ti} \qquad (۵)$$

۱. هزینه واحد انسانی برای هر دستگاه i ام، در مدت زمان t

۲. تعداد کارگران که بر روی دستگاه i ام، در مدت زمانt مشغولند

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

$$HC = \sum_{t=1}^{N} \sum_{t=1}^{1440} {}^{۱}UHC_{ti} \times {}^{۲}NHC_{ti} \quad (۶)$$

$$NHC_{ti} = f(Sta_{ti}) = \begin{cases} a; Sta_{ti} = 1 \\ b; Sta_{ti} = 0 \end{cases} \quad (۷)$$

مدلسازی قیدهای بهترین طرح رفتاری: با بررسی‌های انجام شده مشخص می‌گردد که مصرف‌کنندگان تمایل به حفظ تولید روزانه دارند، بنابراین زمان روشن بودن ماشین آلات می‌بایست طوری باشد که نیازهای تولید روزانه را پاسخ گو گردد. معادله (۷) جزئیات قید یک روز را معرفی می‌کند. در (۷)، عدد ۱۴۴۰ تعداد دقیقه در ۱ روز را نشان می‌دهد.

$${}^{۳}const_i = \sum_{t=1}^{1440} M_{pow_i} \times Sta_{ti} \quad (۸)$$

به‌طورکلی در فرآیند تولید صنایع مختلف، این سه حالت برای وضعیت روشن بودن ماشین آلات بر قرار است. نخست، اینکه دستگاه‌هایی که می‌بایست به‌طور دائم روشن باشند. دوم، ماشین آلاتی که باید همزمان و به‌طور موازی هم روشن باشند. در نهایت، ماشین آلاتی که قابلیت روشن بودن انفرادی و کار کردن بدون نیاز به رعایت هیچ پیش نیازی هستند. بنابراین، در یک خط مونتاژ، دستگاه‌های مختلف در حال کار به‌صورت موازی و تحت یک برنامه کنترل می‌شوند. بنابراین، برای مصرف‌کنندگان صنعتی، روند موازی دستگاه ممکن است رخ دهد. فرض کنید i_1 تا m دستگاه به صورت موازی عمل می‌کنند. معادله (۸) جزئیات این قید را نشان می‌دهد. برای دستگاه‌هایی که به صورت موازی کار می‌کنند، آنها یک احتمال روشن بودن را به اشتراک می‌گذارند ($ON_Pro_{t;unite}$) تمام دستگاه‌های مشغول به کار در حالت موازی همان($Sta_{t;unite}$) به عنوان وضعیت کار منطقی‌شان استفاده می‌کنند. سپس، تمام دستگاه‌های

۱. هزینه واحد انسانی برای هر دستگاه i ام، در مدت زمان t

۲. تعداد کارگران که بر روی دستگاه i ام، در مدت زمانt مشغولند

۳. ثابت مقدار مصرف برق روزانه برای دستگاه i ام

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

مشغول به کار در حالت موازی در هر بازه زمانی روشن یا خاموش می‌شوند، تضمین شده‌اند. در(۸)، عدد ۱۴۴۰ تعداد دقیقه در یک روز را نشان می‌دهد.

$$\forall t(t \in [0;1440]) \\ Sta_{t;unite} = random(on - pro_{t;unite}) \quad (۹)$$

$$Sta_{t;i1} = Sta_{t;i2} = \cdots = Sta_{t;m} = Sta_{t;unite} \quad (۱۰)$$

برخی از مصرف‌کنندگان هر دسته، ممکن است از دستگاههایی با راه اندازی گران استفاده کنند، به‌طور مثال در صنایع شیمیایی، چنین دستگاه‌هایی به‌کارگرفته می‌شوند. با توجه به هزینه‌های بالای راه اندازی، مصرف‌کنندگان هر دسته، تمایل به روشن بودن دستگاه با تمامی تغییرات در فرمت قیمت دارد. معمولا، این دستگاه‌ها ۲۴ ساعت در روز، جدا از زمان نگه‌داری و تعمیرات کار می‌کنند. با این محدودیت، برنامه‌های کنترل دستگاه مربوطه تحت هر فرمت قیمت پاسخ به تقاضادر همان مقدار ثابت نگه داشته می‌شوند. معادله (۹) جزئیات را برای این قید معرفی می‌کند:

$$\forall t(t \in [0;1440]); on - pro_{t;i;old} = on - pro_{t;i;new} \quad (۱۱)$$

مدل سازی نگرش تخمین: پس از اتمام محاسبه بهترین طرح رفتاری با تعرفه قیمت جدید، مصرف‌کننده صنعتی می‌تواند تغییرات هزینه بالقوه از تعرفه قیمت اصلی به تعرفه قیمت جدید را تخمین بزنند. اگر کاهش هزینه‌های بالقوه به اندازه کافی بزرگ باشد، عامل مصرف‌کننده *بهترین طرح رفتاری* را به عنوان رفتار جدید خود انتخاب خواهدکرد، در غیر این صورت طرح رفتار اصلی انتخاب خواهد بود . معادله (۱۰) جزئیات را برای برآورد نگرش معرفی می‌کند.

$$on - pro_{ti} = \begin{cases} on - pro_{ti;BBS}; Cost \leq resche \\ on - pro_{ti}; Cost > resche \end{cases} \quad (۱۲)$$

اطلاعات شبیه‌سازی: به‌منظور یافتن بهینه‌ترین جواب ممکن، روش الگوریتم ازدحام ذرات و با استفاده از تابع هدف و اعمال قیود مسأله و قرار دادن اطلاعات کسب شده از هر دوکارخانه

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

سیمان و شیشه که در بخش چهارم مقاله قرار دارد، استفاده گردید، که نتایج به‌دست آمده در بخش پنجم نمایش داده شده و تحلیل می‌گردد. به‌منظور بررسی و مقایسه در خصوص تأثیر روش‌های مختلف بهینه‌سازی بر روی یک مسأله مشابه، با همان تابع هدف و قیود مسأله با همان اطلاعات به‌دست آمده از هر دوکارخانه سیمان و شیشه که در بخش چهارم مقاله قراردارد، روش الگوریتم ژنتیک نیز اعمال گردید، که نتایج به‌دست آمده در بخش پنجم نمایش داده شده و تحلیل می‌گردد. در این مقاله همچنین تأثیر حقوق و دستمزد بر روی نتایج حاصل با توجه به تابع هدف نیز مد نظرقرار گرفته است. مطابق با قانون کار درایران، ساعت‌های کاری مختلف از ۸ الی ۱۵ با ضریب حقوقی برابر یک و از ۱۵ الی ۲۰ با ضریب ۱/۴ و مبلغ با ضریب ۱/۶ برای ساعت ۲۰ الی ۲۴ تعریف گردیده و در روش‌های بهینه‌سازی اعمال گردید. که نتایج به‌دست آمده در بخش پنجم نمایش داده شده و تحلیل می‌گردد.

۵. مطالعه موردی: پاسخ به تقاضای مبتنی بر زمان فعال در تولید سیمان و شیشه

کارخانه سیمان یکی از صنایع با مصرف بالای برق می‌باشد. در فرآیند تولید سیمان، تقریباً برق برای تمامی مراحل تولید ضروری است.

در جدول(۱) مصارف عمده یک کارخانه سیمان نمونه براساس اطلاعات واقعی با توجه به خط تولید آن شامل خردکن‌ها، آسیاب مواد اولیه و تولید کلینکر، برای یک خط تولید سیمان گزارش شده است (سابا، ۱۳۷۷- الف). میزان مصرف هر قسمت نیز آمده است . منحنی بار کارخانه در شکل(۵) نشان می‌دهد که دستگاه‌های مصرف‌کننده همگی در مدار نمی‌باشند. دستگاه‌های مورد نیاز به‌جهت تضمین تولید محصول روزانه مورد استفاده قرار می‌گیرند و از این رو قید رابطه(۷) برای همه دستگاه‌ها مؤثر است.

دستگاه‌های۳ و ۷ به‌طور موازی با هم کار می‌کنند و از قید(۸) تبعیت می‌نمایند. همچنین، دستگاه‌های ۶، ۸ و۹-۱۱ به‌طور موازی با هم کار می‌کنند و می‌بایست تحت قید یکسان باشند. دستگاه‌های ۶، ۸،۹-۱۱ و۱۴-۱۷ تحت قید(۹) بوده و کنترل آنها قابل تغییر نیست.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

شکل (۵) منحنی بار روزانه کارخانه سیمان را نشان می‌دهد که از دستگاه پاور آنالیزر به‌دست آمده است. این نمودار جهت انتقال بار به ساعات کم‌باری و میان‌باری در برنامه پاسخ‌گویی بار مؤثر خواهد بود.

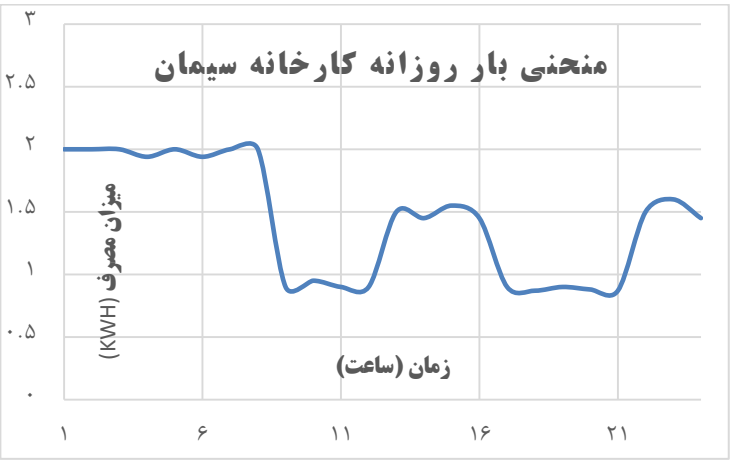
اطلاعات مربوط به تعرفه‌ها و ساعات مربوطه و قوانین آن در جدول (۲) گزارش شده است. مکانیزم ساختار تعرفه براساس زمان‌های کم‌باری، میان‌باری و پر باری تعریف شده است.

جدول ۱. قدرت مورد نیاز مراحل مختلف یک کارخانه سیمان

ردیف	نام دستگاه و قدرت مصرف آن	ردیف	نام دستگاه و قدرت مصرف آن
۱	خردکن سنگ آهک(1420KW)	۱۰	هم زن و خردکن سنگ گچ (۴۵KW)
۲	خردکن سنگ آهک پیش هموژنیزه ذخیره ای(130KW)	۱۱	خردکن سنگ آهک پیش هموژنیزه بازیافتی (60KW)
۳	خردکن ماسه سنگ (385KW)	۱۲	پودرکردن سیمان (۴۵۰۰KW)
۴	خردکن ماسه سنگ پیش هموژنیزه ذخیره‌ای (۲۳۵KW)	۱۳	خردکن ماسه سنگ پیش هموژنیزه بازیافتی(235KW)
۵	آسیاب مواد اولیه (5750KW)	۱۴	بسته بندی سیمان (۱۵۰KW)
۶	فن‌های خارج کننده (1400KW)	۱۵	سیمان بسته بندی نشده (۱۸KW)
۷	کلینکر (680KW)	۱۶	کلینکربسته بندی نشده (۲۰KW)
۸	خنک کننده مواد (292KW)	۱۷	کمپرسور هوا (۱۲۸۰KW)
۹	آماده سازی و گرد شکنی (3810KW)	۱۸	

مأخذ: نتایج تحقیق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]



شکل۵. منحنی بار روزانه کارخانه سیمان

جدول ۲. تعرفه‌های مصارف تولید (صنعت و معدن)

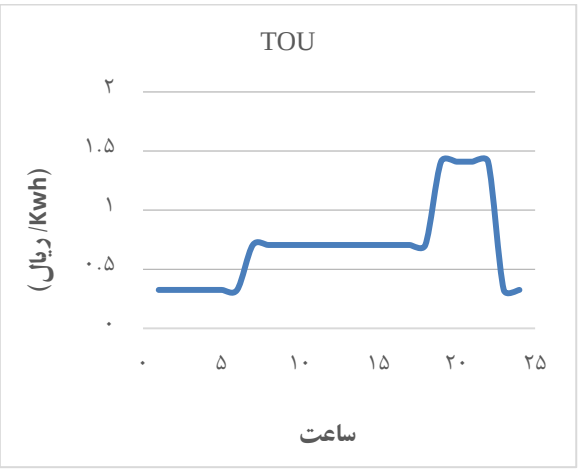
کد تعرفه		با قدرت بیش از ۳۰ کیلووات				با قدرت ۳۰ کیلووات وکمتر			
		بهای قدرت (KW/ ریال)	بهای انرژی (Kwh/ ریال)			بهای قدرت (KW/ ریال)	بهای انرژی (Kwh/ ریال)		
			ساعت میان باری	ساعت اوج بار	ساعت کم باری		ساعت میان باری	ساعت اوج بار	ساعت کم باری
۴-الف	گزینه ۱	۵۲۳۷۸	۵۵۷	۱۱۱۴	۲۷۸/۵	–	۷۲۱	۱۴۴۲	۳۶۰/۵
	گزینه ۲	۱۹۶۴۲	۶۳۹	۱۲۷۸	۳۱۹/۵				
	گزینه ۳	–	۷۰۵	۱۴۱۰	۳۵۲/۵				
۴-ب	گزینه ۱	۲۹۴۶۲	۳۲۸	۶۵۶	۱۶۴	–	۴۴۳	۸۸۶	۲۲۱/۵
	گزینه ۲	۱۴۷۳۱	۳۹۴	۷۸۸	۱۹۷				
	گزینه ۳	–	۴۴۳	۸۸۶	۲۲۱/۵				

مأخذ: نتایج تحقیق

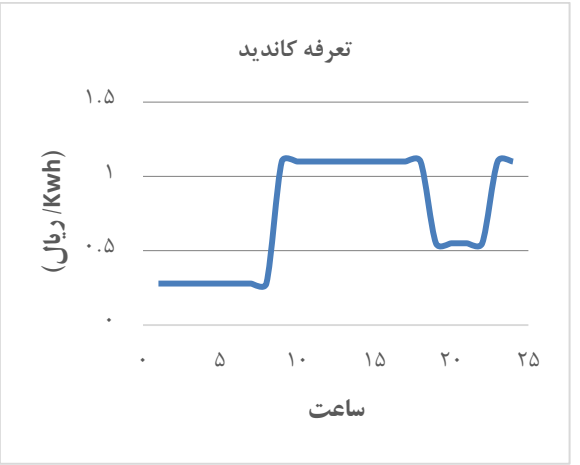
با توجه به جدول (۲) زمان استفاده کارخانه گزینه ۳ بوده و در شکل (۶) وضعیت موجود کارخانه براساس تعرفه می‌باشد. با بررسی منحنی بار روزانه و داشتن یک پیک بزرگ در ساعات اوج بار از ساعت ۲۱ الی۲۳ و مطابق زمان استفاده بهترین تعرفه کاندید الزام به تغییر

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

تعرفه ساعت پیک و افزایش قیمت برق در ساعت اوج می‌باشد. ملاحظه می‌گردد که مطابق تعرفه کاندید، تعرفه در روز به‌شدت افزایش یافته است. تعرفه کاندید که براساس زمان استفاده تهیه شده به‌صورت شکل (۷) می‌باشد.



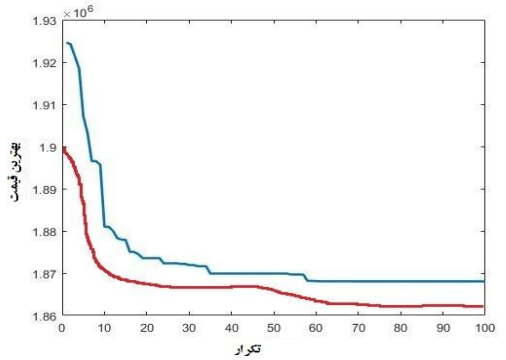
شکل۶. منحنی قیمت – ساعت



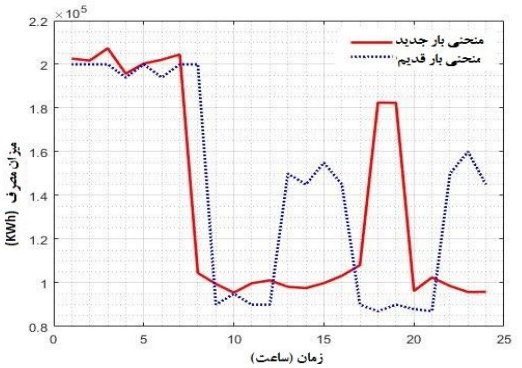
شکل۷. منحنی قیمت - ساعت

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

شکل (۸) منحنی بهترین هزینه (Best Cost) با توجه به ۱۰۰ تکرار را نمـاش مـی‌دهـد. ایـن منحنی براساس به‌کارگیری الگوریتم توده ذرات و با هدف کمینه کردن هزینه‌ها به‌دسـت آمده است. درشکل (۹) منحنی مصرف روزانه کارخانه سیمان را در دو وضعیت قدیم و شرایط بهینه شده به تصویر می‌کشد. شکل (۹) براساس تعرفه کاندیدی و امکـان جابجـایی بـار براسـاس زمان استفاده به‌دست آمده است.



شکل۸. منحنی بهینه ترین هزینه کارخانه سیمان با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات



شکل ۹. منحنی مقایسه‌ای مصرف روزانه کارخانه سیمان با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات

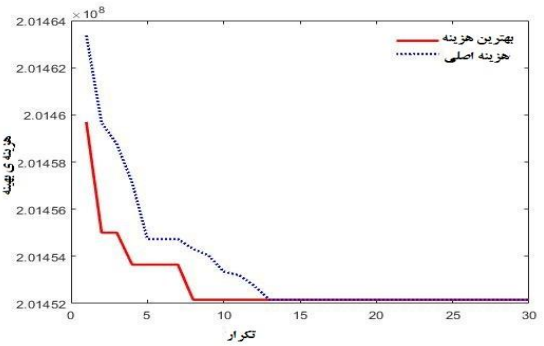
[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

همان‌طور که در شکل (۹) ملاحظه می‌شود که مصرف دقیقاً در شروع ساعت‌های اوج بار (خصوصا در تابستان) یعنی ساعت‌های ۱۴الی ۱۷ و ۱۹ الی ۲۴ به کمترین مقدار خود رسیده است. این بهینه‌ترین جواب ممکن می‌باشد و به‌راحتی کم شدن مصرف در ساعات اوج مصرف را نشان می‌دهد.

جهت بررسی نتایج به‌دست آمده توسط الگوریتم توده ذرات و امکان مقایسه آن با سایر روش‌های ابتکاری، الگوریتم ژنتیک به‌کار گرفته شد درشکل (۱۰) منحنی بهترین هزینه (Best Cost)با توجه به ۳۰ تکرار را نمایش می‌دهد، این منحنی مقدار کمینه تابع هزینه را به نمایش می‌گذارد و در شکل (۱۱) منحنی مصرف روزانه کارخانه سیمان را در دو وضعیت قدیم و شرایط بهینه شده توسط الگوریتم ژنتیک را به تصویر می‌کشد.

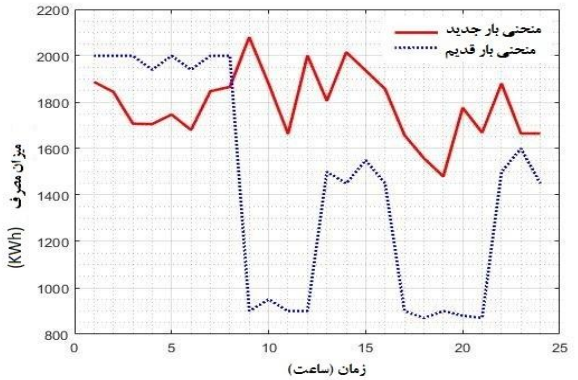
با توجه به خروجی روش الگوریتم ژنتیک بنظر می‌رسد، در مجموع با برآورده کردن سه مورد از چهار معیار انتخاب پاسخ به تقاضا، که عبارتند از: ۱) تغییر کل اوج بار ؛ ۲) تغییر واریانس کل بار؛ ۳) تغییر از کل تفاوت اوج – فرود کل بار، به جواب بهینه رسیده‌ایم.

اما در مجموع جواب‌های الگوریتم توده ذرات مناسب‌تر به‌نظر می‌رسد، منحنی بار براساس تعرفه کاندید و بارهای منعطف به میان‌باری و کم‌باری متمایل شده و در مجموع کاهش هزینه‌ها را به‌همراه داشته است.



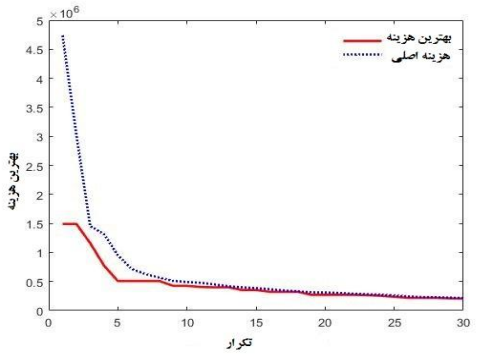
شکل۱۰. منحنی بهینه ترین هزینه برای کارخانه سیمان با استفاده از الگوریتم ژنتیک

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]



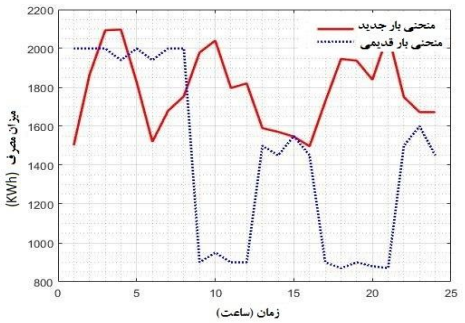
شکل ۱۱. منحنی مقایسه‌ای مصرف روزانه کارخانه سیمان با استفاده از الگوریتم ژنتیک

شکل (۱۲) تأثیر حقوق ودستمزد را بر تابع هدف نشان می‌دهند. حقوق و دستمزد تأثیر منفی در بهینه‌سازی دارند، چرا که با اعمال ضرایب، یک بخش مثبت به تابع هدف افزوده می‌شود، که خود، با حداقل سازی تابع هدف مغایرت دارد. *باید توجه داشت چون کارخانه سیمان سه شیفته بوده تأثیراین قسمت در تابه هدف کم دیده می‌شود اما برای صنایع دو شیفته و تک شیفته با توجه به مبالغ اضافه کاری و هزینه‌های نیروی انسانی طبعا مؤثرتر خواهد بود.* در شکل (۱۳) تأثیر قیمت دستمزد بر روی منحنی مصرف به نمایش گذاشته که با توجه به سه شیفته بودن کارخانه کم می‌باشد.



شکل۱۲. منحنی بهینه‌ترین هزینه برای کارخانه سیمان با تأثیر حقوق و دستمزد با استفاده از الگوریتم ژنتیک

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]



شکل ۱۳. منحنی مقایسه‌ای مصرف روزانه کارخانه سیمان
با تأثیر حقوق و دستمزد با استفاده از الگوریتم ژنتیک

در مطالعه موردی دوم به کارخانه شیشه که یکی از صنایع پر مصرف است پرداخته می‌شود (ممیزی انرژی در شیشه، سابا، ۱۳۷۷). تولید شیشه به‌طور کلی از چهار مرحله اصلی تشکیل می‌شود: مرحله ذوب، مرحله پالایش و تصفیه، مرحله شکل دهی و مرحله تنش زدایی شیشه. به‌منظور ارزیابی بهتر و دقیق تر و همچنین به‌دلیل تعدد زیاد ماشین آلات و مصارفی، همچون روشنایی و تهویه مطبوع و غیره و برای رسیدن و بررسی کامل کارخانه شیشه آبگینه قزوین، این کارخانه به هفت بخش اصلی تقسیم و اطلاعات هر بخش به‌طورکامل بررسی و مصارف عمده این کارخانه مطابق با جدول (۳) در زیر شرح داده می‌شود.

جدول ۳. مصرف روزانه برای بخش‌های مختلف کارخانه شیشه

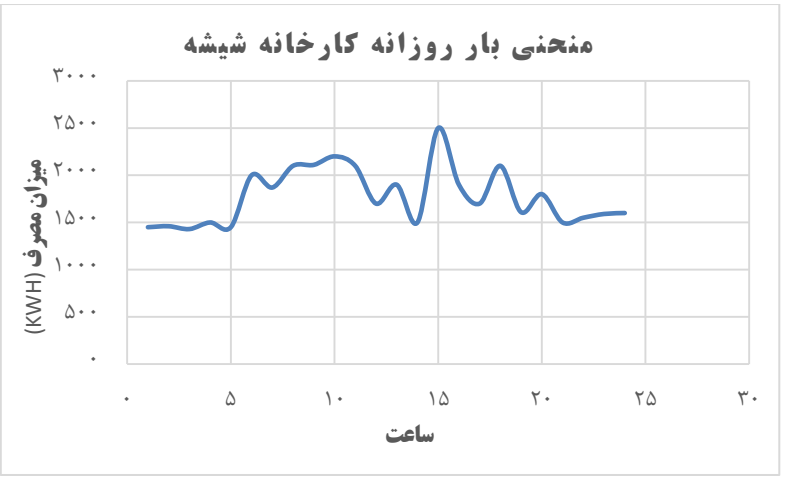
دپارتمان (بخش)	مصرف روزانه انرژی الکتریکی (Kwh/day)	دپارتمان (بخش)	مصرف روزانه انرژی الکتریکی (Kwh/day)
کوره شماره ۱	۱۰۰۲۴	گرمایش	۱۲۲۴/۲
کوره شماره۲	۲۱۴۵۸/۸۴	تولید شیشه طلقی	۷۳۵۴/۸
مواد اولیه (بچ پلانت)	۲۰۲۰/۶	سایر (نیروگاه ۱و۲ تعمیرگاه و تولید شیشه ایمنی ...)	۳۹۴۷/۵

مأخذ: نتایج تحقیق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

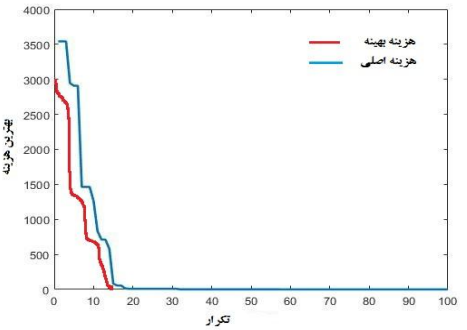
اطلاعات تعرفه اصلی و تعرفه کاندید به‌طور کامل مشابه بخش (ب) کارخانه سیمان بوده و تعرفه‌ها از جدول (۲) و زمان استفاده از شکل (۶) و تعرفه کاندید از شکل (۷) استخراج می‌شوند.در شکل (۱۴) منحنی بار روزانه کارخانه شیشه با استفاده از دستگاه پاور آنالیزر به‌دست آمده است که هدف تغییر آن به ساعات کمباری و بی باری می‌باشد.

شکل (۱۵) منحنی بهترین هزینه (Best Cost) با توجه به ۱۰۰ تکرار را نماش می‌دهد. این منحنی براساس به‌کارگیری الگوریتم توده ذرات و با هدف کمینه کردن هزینه‌ها به‌دست آمده است. درشکل(۱۶) منحنی مصرف روزانه کارخانه سیمان را در دو وضعیت قدیم و شرایط بهینه شده به تصویر می‌کشد. شکل (۱۶) براساس تعرفه کاندید و امکان جابجایی بار براساس زمان استفاده به‌دست آمده است.

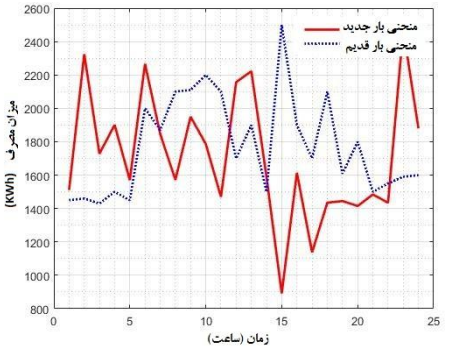


شکل۱۴. منحنی بار روزانه کارخانه شیشه

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]



شکل۱۵. منحنی بهینه‌ترین هزینه کارخانه شیشه با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات

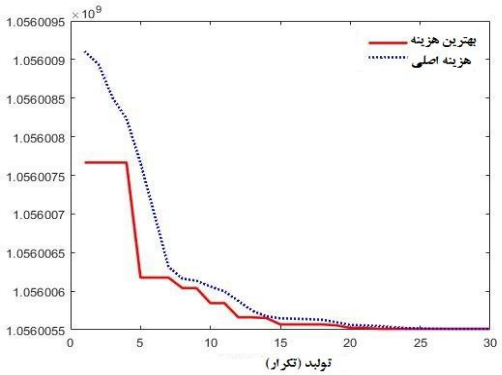


شکل ۱۶. منحنی مقایسه‌ای مصرف روزانه کارخانه شیشه با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات

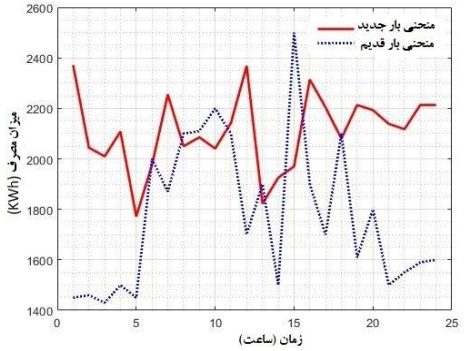
همان‌گونه که مشاهده می‌شود نمودار مصرف بهینه شده است. دقیقاً در تمام طول ساعت اوج بار از ساعت ۱۴ الی ۲۲ به‌طور واضح کم شدن مصرف مشهود می‌باشد. حتی در ساعتی نمودار کاملاً یکنواخت شده و به میزان بسیار قابل قبولی رسیده است.

جهت بررسی نتایج به‌دست آمده توسط الگوریتم توده ذرات و امکان مقایسه آن با سایر روش‌های ابتکاری، الگوریتم ژنتیک به‌کار گرفته شد. درشکل (۱۷) منحنی بهترین هزینه (Best Cost) با توجه به ۳۰ تکرار را نمایش می‌دهد. این منحنی مقدار کمینه تابع هزینه را به نمایش می‌گذارد و در شکل (۱۸) منحنی مصرف روزانه کارخانه سیمان را در دو وضعیت قدیم و شرایط بهینه شده توسط الگوریتم ژنتیک را به تصویر می‌کشد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]



شکل ۱۷. منحنی بهینه‌ترین هزینه برای کارخانه شیشه با استفاده از الگوریتم ژنتیک



شکل ۱۸. منحنی مقایسه‌ای مصرف روزانه کارخانه شیشه با استفاده از الگوریتم ژنتیک

با توجه به خروجی روش الگوریتم ژنتیک به‌نظر می‌رسد، در مجموع با برآورده کردن سه مورد از چهار معیار انتخاب پاسخ به تقاضا، که عبارتند از: ۱) تغییر کل اوج بار؛ ۲) تغییر واریانس کل بار؛ ۳) تغییر از کل تفاوت اوج – فرود کل بار، به جواب بهینه رسیده است. اما در مجموع جواب‌های الگوریتم توده ذرات مناسب‌تر به‌نظر می‌رسد. منحنی بار براساس تعرفه کاندید و بارهای منعطف به میان‌باری و کم‌باری متمایل شده و در مجموع کاهش هزینه‌ها به‌همراه داشته است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

٦. نتیجه‌گیری

در این مقاله به مدل‌سازی تابع هدف بهترین طرح رفتاری مبتنی برتعرفه برق و حقوق و دستمزد پرداخته شد. در بخش قیمت ضمن مرور وضعیت موجود و تعرفه‌های فعلی، پیشنهاد تعرفه جدیدی داده شد که به آن تعرفه کاندید گفته می‌شود. در بخش حقوق و دستمزد و تأثیرات آن بر منحنی مصرف با توجه به مطالعات موردی، اثرگذاری آن بررسی گردید. جهت تصدیق مدل‌سازی انجام شده از دیتای واقعی و نتایج ممیزی انرژی در کارخانجات سیمان و شیشه استفاده شد. تابع هدف مشخص گردید و قیدهای آن نیز بیان شد سپس جهت کمینه سازی از الگوریتم‌های توده ذرات وژنتیک استفاده شد. جهت امکان تغییر منحنی بار و پاسخ گویی بار بایستی بارهای منعطف شناسایی و امکان انتقال آن به ساعات غیر پیک بررسی شود. بنابراین در هردو مطالعه موردی این کار انجام شده است و براساس زمان استفاده سیستم بهینه سازی شده و شکل ایده آل منحنی مصرف ترسیم شده است.

نتایج خروجی الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام توده ذرات، و مطالعه موردی در صنایع سیمان و شیشه با استفاده از پاسخ تقاضای مبتنی بر زمان فعال نشان می‌دهد، در مجموع علاوه بر تامین تقاضا، چهارمعیار انتخاب شده که عبارتند از: ۱. تغییر اوج بارکل؛ ۲. تغییر واریانس بار کل؛ ۳. تغییر تفاوت اوج تا فرود بارکل؛ ۴. تغییر مصرف، به بهترین الگوی مصرفی منتج شده است. اما با توجه به نمودارهای خروجی، الگوریتم ازدحام ذرات، نتایج ملموس‌تری نسبت به الگوریتم ژنتیک دارد، که شاید بتوان گفت که الگوریتم ازدحام ذرات، روش بهینه‌سازی مناسب‌تری را پیشنهاد می‌دهد.

حقوق دستمزد تأثیر منفی در بهینه سازی دارند، چرا که با اعمال ضرایب، یک بخش مثبت به تابع هدف افزوده می‌شود. این امر، با حداقل سازی تابع هدف مغایرت دارد. اما در صنایع بزرگ همانند سیمان و شیشه، تأثیر حقوق و دستمزد به‌دلیل سه شیفت کاری در هر دو صنعت تأثیر چندانی ندارد، اما در صنایع کوچک و دو شیفته با احتساب ضرایب اضافه‌کاری در خارج از زمان کاری قطعاً مؤثر خواهد بود.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

به‌دلیل انتخاب یک زیر دسته هدف که دارای مصرف بالا است، با اعمال روش معرفی شده، منجر به بهینه‌سازی مصرف آن زیر دسته، و نهایتاً کل ناحیه‌ای خواهد شد که آن زیر دسته درآن واقع شده است. این مهم، باعث عدم نیاز به تأسیس نیروگاه‌های جدید به علت بهینه‌سازی می‌باشد که امروزه تحت عنوان نیروگاه‌های مجازی نامیده می‌شوند.

پر واضح است که این روش در تمامی دسته‌ها با انتخاب زیر دسته‌های منتخب که، دارای شرایط مندرج در زیربخش (الف) از بخش پیکربندی این مقاله، می‌باشند، قابل تعمیم است. انجام این روش در تمامی دسته‌ها، بدون محدودیت در نوع دسته، با انتخاب صحیح زیر دسته‌ها قابل انجام و بسیار مؤثر می‌باشد. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، دسته بندی و زیر دسته بندی‌ها می‌تواند برای تمامی گروه‌ها از جمله بخش کشاورزی، تجارت و مسکونی اعمال گردد و قابل تعمیم می‌باشد. برای بخش صنعت با سه شیفت کاری بسیار مؤثر تر خواهد بود.

منابع

سابا (۱۳۷۷- الف)، *مطالعه موردی ممیزی انرژی در صنعت سیمان*، دفتر بهینه سازی مصرف انرژی و سابا.

سابا (۱۳۷۷- ب)، *مطالعه موردی ممیزی انرژی در صنعت شیشه، در محدوده کارخانجات شیشه آبگینه واقع در شهرک صنعتی البرز (قزوین)*، سابا.

Agrell Per J. and Tatjé Emili Grifell (2016),"A Dynamic Model for Frm-response to Non-credible Incentive Regulation Regimes", *Energy Policy journal*, No. 90, PP.287–299.

Albadi M.H., and E.F. El-Saadan (2008), "A Summary of Demand Response in Electricity Markets", *Electric Power Systems Research journal* , Vol.78, No.11, PP. 1989–1996.

Chiu Wei-Yu Hongjian Sun and Poor H. Vincent (2016), "Energy Imbalance Management Using a Robust Pricing Scheme", *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol.4 , No.2, PP. 896–904.

Fahrioglu Murat (2016), "Effect of Demand Management on Regulated and Deregulated Electricity Sectors", *Energy Policy journal*, Vol. 90, PP. 115–120.

Fang Yuan Xu and Loi Lei Lai (2015), "Novel Active Time-Based Demand Response for Industrial Consumers in Smart Grid", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*,Vol.11, No.6, PP.1564-1573.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]

Ghorbani M., Ghorbani J and H. Mokhtari (2015), "Impact of Harmonics on Power Quality and Losses in Power Distribution Systems", *International Journal of Electrical and Computer Engineering* (IJECE), Vol. 5, No. 1.

Government of United Kingdom (2016), "Electricity System flexibility". Ofgem.

Government of Western Australia Retrieved 30 (2010), "Demand Management". *Office of Energy*.

Kharbach Mohammed (2016), "Diversification Criteria for Power Systems", *Energy Policy journal* , Vol. 90 , PP. 183–186.

NIST Report (2015), "NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 2.0", *US National Institute of Standards*, and Technology (NIST).

OECD, Paris (2003), "International Energy Agency, the Power to Choose—Demand Response in Liberalized Electricity Markets".

Raugeia Per J. Marco and Enrica Leccisi (2016), "A Comprehensive Assessment of the Energy Performance of the Full Range of Electricity Generation Technologies Deployed in the United Kingdom", *Energy Policy journal*,Vol. 90, PP. 46–59.

Staff Report (2015), "Assessment of Demand Response and Advanced Metering", US Federal Energy Regulatory Commission (FERC).

Zhanga Sufang, Yiqian Jiaoa and Wenjun Chen (2017), "Demand-side Management (DSM) in the Context of China's On-going Power Sector Reform", *Energy Policy journal* , Vol.100 , PP.1–8.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-18]