

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، واحد کرج، گروه برق، ایران

eng.nikkhah@gmail.com

رضا عفت نژاد

استادیار دانشکده مکترونیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، گروه برق، ایران (نویسنده مسئول)

reza.efatnejad@kiaui.ac.ir

مهدی هدایتی

استادیار دانشکده مکترونیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، گروه برق، ایران

mehdi\_hedayati@yahoo.com

استفاده از مفهوم پاسخگوی بار (تقاضا) یکی از روش‌های مؤثر برای بهینه‌سازی و تعدیل مصرف انرژی الکتریکی است. پاسخ به تقاضای مبتنی بر زمان معمولاً براساس دسته‌بندی‌های کلی شامل صنعت، کشاورزی، تجاری، مسکونی طراحی می‌شود. به دلیل یکسانی تعرفه‌های قیمت‌گذاری عمومی در هر دسته‌بندی، این روش بعضاً با مشکلاتی مواجه می‌گردد. یکی از مشکلات بارز پاسخ به تقاضای مبتنی بر زمان غیر فعال (پسیو)، انتقال بار بیش از حد می‌باشد. در این مقاله با انجام زیر دسته‌بندی 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 بهینه‌سازی 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 بهینه‌سازی تابع هدف به کار برده شده است. با استفاده از اطلاعات حاصل از میزبانی 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 پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۰۶

## 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<sup>۱</sup> و غیرفعال<sup>۲</sup> و همچنین اطلاع‌رسانی به بهره‌برداران و مشتریان با استفاده از سیستم‌های مخابراتی و برقراری ارتباط میان دستگاه‌های اندازه‌گیری با مرکز جمع‌آوری اطلاعات<sup>۳</sup> (DCU) مجموعه‌ای از دستگاه‌های فعال در همان حوضه با استفاده از روش‌های ارتباطی همچون، فرکانس رادیویی<sup>۴</sup> (RF)، انتقال بر روی خط قدرت<sup>۵</sup> (PLC) و غیره انجام داد.

مدیریت تقاضا انرژی، همچنین به عنوان مدیریت سمت تقاضا<sup>۶</sup> (DSM) و یا پاسخ طرف تقاضا<sup>۷</sup> (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 (فریوگلو، 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

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 تغییر کند. 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 (خریاج، ۲۰۱۶). پاسخ تقاضا، شامل تمام اصلاحات عمده 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<sup>۱</sup> (PTB) به صورت 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<sup>۲</sup> (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

هدف و یا برای هر دسته بندی در زیر دسته هدف توسط تجزیه و تحلیل 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 به دست آورند (چو، ۲۰۱۶). از سوی دیگر، بهره‌برداران به یک مشخصه بار بهتر دست خواهند یافت. در هنگام 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. در این مقاله، بهترین طرح رفتاری<sup>۱</sup> (BBS) تحت تعرفه‌های جدید و برآورد نگرشی مصرف‌کنندگان دسته منتخب به تفصیل شرح داده می‌شود. داده‌های به دست آمده در ارتباط بین بهره‌برداران و مصرف‌کنندگان دسته منتخب نیز توصیف شده است. مطالعه موردی عددی در کارخانه سیمان و شیشه، 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 در نرخ 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

- بررسی مطالعه موردی با استفاده از داده‌های واقعی در صنایع سیمان و شیشه و به کارگیری زمان استفاده
- مقایسه بهینه سازی تابع هدف با الگوریتم‌های ژنتیک و توده ذرات.
- ارایه نتایج که نشان‌دهنده بهینه سازی در هر دو 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 قیمت گذاری در کلیه دسته‌بندی‌ها و برای تمامی سطوح ولتاژ یا مصرفی، پسیو ارائه می‌گردد. مصرف کنندگان می‌بایست، خودشان را بامنحنی قیمت ارائه شده، تطبیق دهند. به دلیل دسته بندی‌های کلی و همچنین، عدم رعایت جزئیات در هر دسته، ملاک قیمت گذاری مبتنی بر گروه‌های بزرگ مصرف کننده می‌باشد. مشتریان دسته‌های مختلف، با مقدار مصرف گوناگون، معمولاً از یک قیمت یکسان برای همان سطح ولتاژ رنج می‌برند. به دلیل منحنی قیمت گذاری یکسان به یک دسته مشابه از مشتریان، مشکل انتقال بار بیش از حد به وجود می‌آید. به طوری که، تمامی مصرف کنندگان، تمایل به انتقال مصرف برق خود به پایین ترین قیمت از زمان استفاده (TOU) 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 مصرف کنندگان که دارای مصرف بالای برق باشند را انتخاب کرده و یک زمان استفاده ویژه به آنها پیشنهاد کنند (فرک، ۲۰۱۵).

### 1. Time of Use

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. به وسیله تجزیه و تحلیل بر روی 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 جمع‌آوری 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 به منظور 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

ساختار مشتری 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 بر بخش کوچکی از کاربران نسبت به تمامی گروه‌های مصرف‌کننده در پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان غیرفعال متمرکز شده است (آژانس انرژی، ۲۰۰۳).

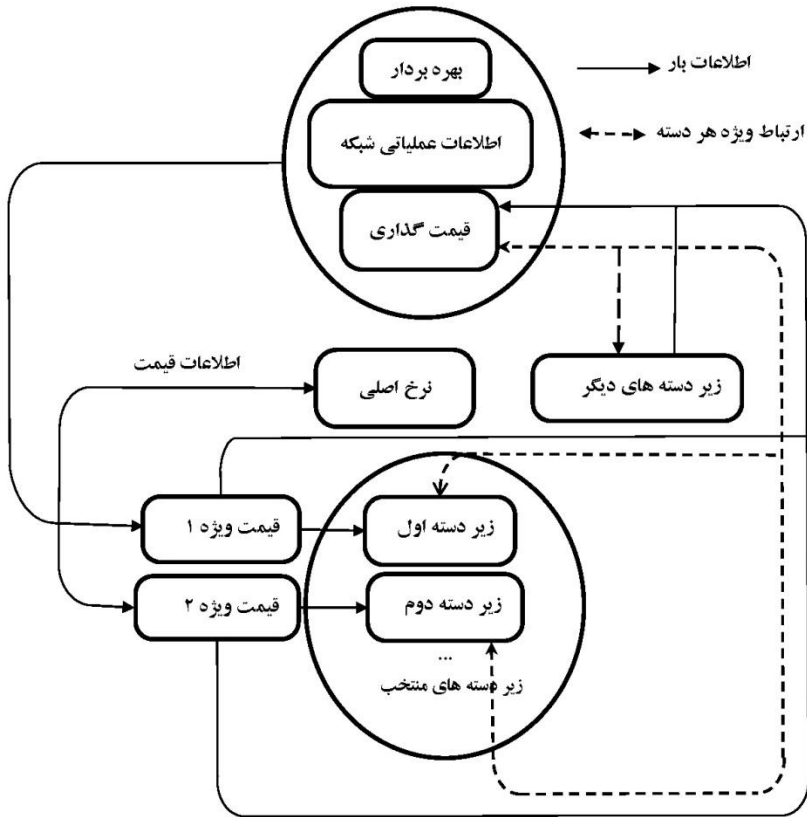
## ۲-۲. قابلیت‌های پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان فعال برای هر دسته

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 به کارگیری پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان فعال ضروری هستند. با ملاحظات مشخص شده از زیردسته‌های مربوطه، بار زیردسته، توسط ارائه قیمت ویژه، و همچنین بار کل 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 بار کل
۲. تغییر واریانس بار کل
۳. تغییر تفاوت اوج تا فرود بار کل
۴. تغییر مصرف.

چهار مرحله برای روش‌های تجزیه و تحلیل پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان فعال وجود دارد:

۱. جمع‌آوری اطلاعات زیر دسته منتخب؛ ۲. مدل‌سازی ساده زیر دسته هدف؛ ۳. ارائه قیمت ویژه زیردسته هدف؛ ۴. تجزیه و تحلیل قابلیت‌های پاسخ به تقاضا مبتنی بر زمان فعال.



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

مصرف کنندگان 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 مصرف کنندگان 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



تجزیه و تحلیل 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 دقیق‌ترین 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 به کار گرفته می‌شود. این طرح رفتاری می‌تواند با کمترین هزینه بالقوه با همان مصرف برق رفتار سنتی برای دستگاه‌ها، با ارائه همان قابلیت تولید روزانه، به دست 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 به دست آید، به نام "بهترین طرح رفتاری" است.

۱. به روز رسانی دستگاه‌های مؤثر<sup>۱</sup>: 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 به منظور بهره‌وری انرژی بالاتر، قوی است.

۲. برنامه‌ریزی مجدد عملیات<sup>۲</sup>: اگر هزینه‌های بالقوه بهترین طرح رفتاری متعارف پایین‌تر از طرح فعلی باشد، مصرف‌کننده صنعتی برنامه‌ریزی 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

۳. عادی ماندن<sup>۱</sup>: هنگامی که هزینه‌های بالقوه بهترین طرح رفتاری یک سود قابل توجهی را در مقایسه با طرح فعلی تولید نمی‌کند، مصرف‌کننده صنعتی رفتار خود را تغییر نخواهد داد.

۴. کاهش عملیات<sup>۲</sup>: 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.

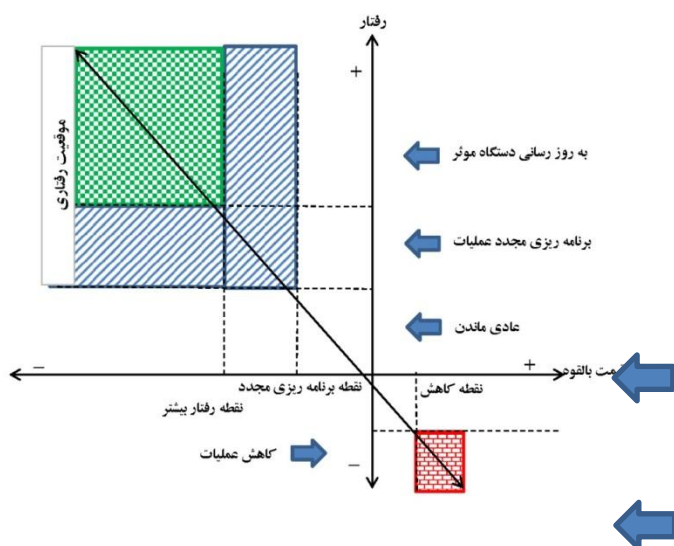
در شکل (۲)، فلش مورب نشان دهنده وضعیت مصرف‌کننده است. اگر هزینه‌های بالقوه بهترین طرح رفتاری کمتر از اینکه در "نقطه رفتاری بعدی" باشد، مصرف‌کننده در منطقه با هاشور شطرنجی سبز قرار دارد، که در نگرش "به روز رسانی دستگاه مؤثر" است. اگر هزینه‌های بالقوه بهترین طرح رفتاری بین دو "نقطه رفتاری بعدی" و "نقطه تغییر زمان" باشد، مصرف‌کننده در منطقه با هاشور مورب آبی قرار دارد، 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، هاشور آجری قرمز، مصرف‌کننده در نگرش "کاهش عملیات" است. "به روز رسانی انرژی کارآمد دستگاه" و یا "کاهش عملیات" زمانی که 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

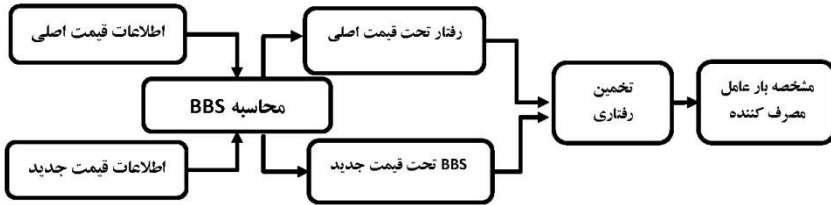
مدل مبتنی بر عامل متعلق به مدل‌های محاسباتی برای شبیه‌سازی کنش‌ها و تعاملات عوامل مستقل با توجه به ارزیابی اثر آنها بر روی سیستم به عنوان یک مجموعه می‌باشد. در مدل‌سازی

1. Keep usual
2. Reduce operation

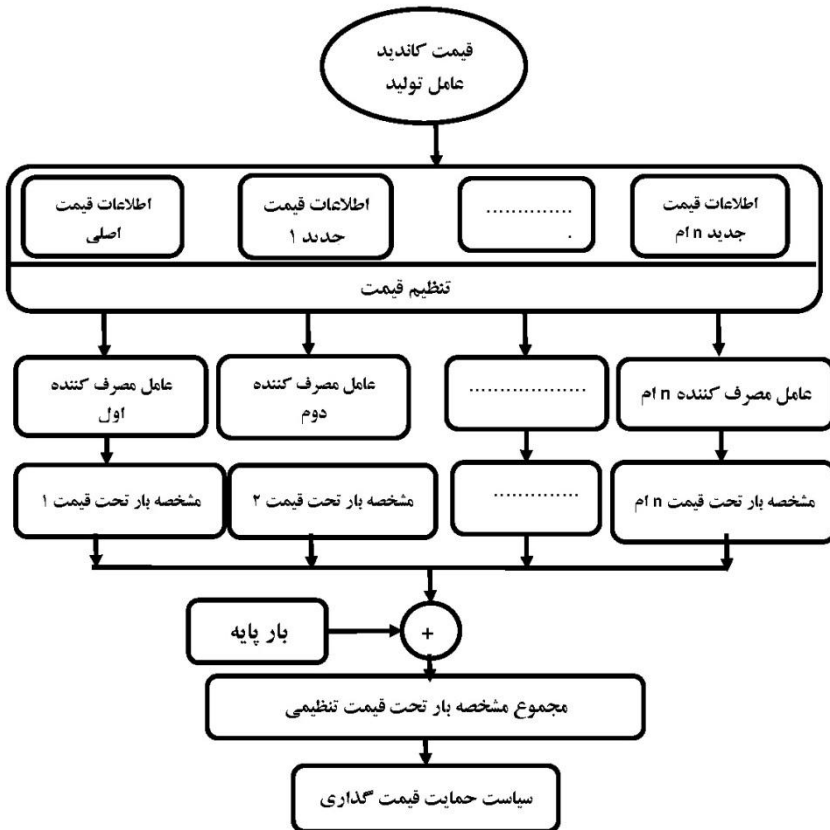
مصرف کننده هر دسته، هر عامل مصرف کننده نشان دهنده یک واحد و یا یک مصرف کننده تنها است که می تواند عملیات خود را به طور مستقل توسط اطلاعات قیمت، برنامه ریزی کند. شکل (۳) ساختار عملیاتی مدل عامل مصرف کننده را معرفی می کند. در شکل (۳)، عامل مصرف کننده یک انتخاب از قیمت های جدید دریافت می کند و ابتدا، آن بهترین طرح رفتاری زیر قیمت کاندید را پیدا خواهد کرد و هزینه بالقوه بهترین طرح رفتاری را تخمین می زند. اگر هزینه های بالقوه کوچک تر از این است که در نقطه برنامه ریزی مجدد باشد، عامل مربوطه، تعرفه قیمت جدید را انتخاب خواهد کرد و تغییر رفتار می دهد. در این حالت، خروجی عامل مشخصه بار بهترین طرح رفتاری خواهد بود. اگر هزینه های بالقوه بزرگ تر از آن در نقطه برنامه ریزی مجدد باشد، عامل مربوطه تعرفه قیمت اصلی را انتخاب خواهد کرد و رفتار را تغییر نمی دهد. در این حالت، خروجی عامل به طور عادی حفظ می شود. با ساختار عامل مصرف کننده همان گونه که در شکل (۳) نشان داده شده است. ساختار سیستم شبیه سازی چند عامل برای نگاشت رابطه بین منحنی قیمت و بار در شکل (۴) نشان داده می شود.



شکل ۲. نگرش تغییرات هزینه های بالقوه تحت برخی از قیمت های برق



شکل ۳. ساختار عملیاتی مدل عامل مصرف کننده



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

از شکل (۴)، اطلاعات قیمت‌های کاندید به هر عامل مصرف کننده 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 مصرف کنندگان دیگر، یک مجموعه بار کل 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، همان‌طور که شکل‌های (۳) و (۴) ارتباط بین قیمت و بار را از طریق مدل‌ها توصیف می‌کنند.

#### ۴. 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 مصرف کننده 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 مصرف کننده صنعتی به دو بخش متشکل از تغییرات معمولی قبض برق روزانه و تغییرات معمولی حقوق و دستمزد روزانه تجزیه می‌شود:

$$\text{Min: } Cost = [PPC^1 - PPCo^2] + [HC^3 - HCo^4] \quad (1)$$

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

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 (HCO) 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، به دلیل 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 در آن مرحله زمانی ۱ دقیقه فرض می‌شود. رفتار یک دستگاه خاص در دوره معین به عنوان یک احتمال روشن شدن تعریف شده است. (ON\_Pro<sub>ti</sub>) از (۳)، وضعیت کار منطقی دستگاه ا ام در مرحله زمانی t (Sta<sub>ti</sub>) از تابع تصادفی در (ON\_Pro<sub>ti</sub>) تولید می‌شود. از (Sta<sub>ti</sub>) و قدرت دستگاه (M - Pow<sub>i</sub>)، (۲) صورتحساب با قیمت داده شده از (۴) را محاسبه می‌کند. از (۲)، (۳) و (۴)، قبض برق (PPC) تابع رفتاری است.

$$PPC = \sum_{t=1}^{1440} \left( P_t \times A \right) = \sum_{t=1}^{1440} \left( P_t \times \frac{\sum_{i=1}^N M_{pow_i} \times Sta_{ti}}{60} \right) \quad (2)$$

$$Sta_{ti} = random(ON - por_{ti}) \quad (3)$$

$$price = (P_1; P_2; \dots; P_t; \dots; P_{1440}) \quad (4)$$

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

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

۳. برق عملیاتی دستگاه ا ام

۴. قیمت برق در مدت زمان (t)

۵. منحنی روزانه قیمت خرده فروشی برق

در رابطه (۲)، A نشان دهنده قدرت مصرف برای دستگاه i ام در t دقیقه است. ۶۰ به معنی ۶۰ دقیقه در ۱ ساعت 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<sub>ti</sub>) نشان دهنده فاکتور اول و (M<sub>pow<sub>i</sub></sub>) فاکتور دوم است. در عمل، (M<sub>pow<sub>i</sub></sub>) مربوط به مقدار مواد خام در حال پردازش و یک مقدار ثابت نیست. رابطه مدل سازی بین برق و مقدار مواد اولیه مورد نیاز مصرف کنندگان برای ارائه جزئیات تولیدشان انتخاب شده است. جزئیات پرداخت حقوق و دستمزد تحت قیمت جدید داده شده است، (۳)، (۴) و (۵). کارگران مورد نیاز یک دستگاه خاص در دوره‌های مختلف یک روز، عمیقاً به برنامه عملیاتی دستگاه مرتبط می‌باشند. بنابراین، با ارتباط عمیق از مصرف کننده صنعتی، رابطه بین رفتارها (ON\_Pro<sub>ti</sub>) و تعداد کارگران (NHC<sub>ti</sub>) 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<sub>ti</sub>) 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.

$$HC = \sum_{t=1}^N \sum_{t=1}^{1440} UHC_{ti} \times NHC_{ti} \quad (5)$$

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

۲. تعداد کارگران که بر روی دستگاه A ام، در مدت زمان t مشغولند

$$HC = \sum_{t=1}^N \sum_{t=1}^{1440} UHC_{ti} \times NHC_{ti} \quad (6)$$

$$NHC_{ti} = f(Sta_{ti}) = \begin{cases} a; Sta_{ti} = 1 \\ b; Sta_{ti} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

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.

$$const_i = \sum_{t=1}^{1440} M_{pow_i} \times Sta_{ti} \quad (8)$$

به‌طور کلی در فرآیند تولید صنایع مختلف، این سه حالت برای وضعیت روشن بودن ماشین آلات برقرار است. نخست، اینکه دستگاه‌هایی که می‌بایست به‌طور دائم روشن باشند. دوم، ماشین‌آلاتی که باید همزمان و به‌طور موازی هم روشن باشند. در نهایت، ماشین‌آلاتی که قابلیت روشن بودن انفرادی و کار کردن بدون نیاز به رعایت هیچ پیش‌نیازی 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  $A$  ام، در مدت زمان  $t$

۲. تعداد کارگران که بر روی دستگاه  $A$  ام، در مدت زمان  $t$  مشغولند

۳. ثابت مقدار مصرف برق روزانه برای دستگاه  $A$  ام



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.

$$\forall t(t \in [0; 1440]) \quad (9)$$

$$Sta_{t;unite} = random(on - pro_{t;unite})$$

$$Sta_{t;i1} = Sta_{t;i2} = \dots = Sta_{t;m} = Sta_{t;unite} \quad (10)$$

برخی از مصرف کنندگان هر دسته، ممکن است از دستگاههایی با راه اندازی گران استفاده کنند، به‌طور مثال در صنایع شیمیایی، چنین دستگاه‌هایی به کار گرفته می‌شوند. با توجه به هزینه‌های بالای راه اندازی، مصرف کنندگان هر دسته، تمایل به روشن بودن دستگاه با تمامی تغییرات فرمت قیمت دارد. معمولاً، 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:

$$\forall t(t \in [0; 1440]); on - pro_{t;i,old} = on - pro_{t;i,new} \quad (11)$$

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

$$on - pro_{ti} = \begin{cases} on - pro_{ti;BBS}; Cost \leq resche \\ on - pro_{ti}; Cost > resche \end{cases} \quad (12)$$

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 دو کارخانه

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 دو کارخانه سیمان و شیشه که در بخش چهارم مقاله قرار دارد، 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 نظر قرار گرفته است. مطابق با قانون کار در ایران، 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 به جهت تضمین تولید محصول روزانه مورد استفاده قرار می‌گیرند و از این رو قید رابطه (۷) برای همه دستگاه‌ها مؤثر است.

دستگاه‌های ۳ و ۷ به‌طور موازی با هم کار می‌کنند و از قید (۸) تبعیت می‌نمایند. همچنین، دستگاه‌های ۶، ۸، ۹ و ۱۱ به‌طور موازی با هم کار می‌کنند و می‌بایست تحت قید یکسان باشند. دستگاه‌های ۶، ۸، ۹ و ۱۱ و ۱۴-۱۷ تحت قید (۹) بوده و کنترل آنها قابل تغییر نیست.

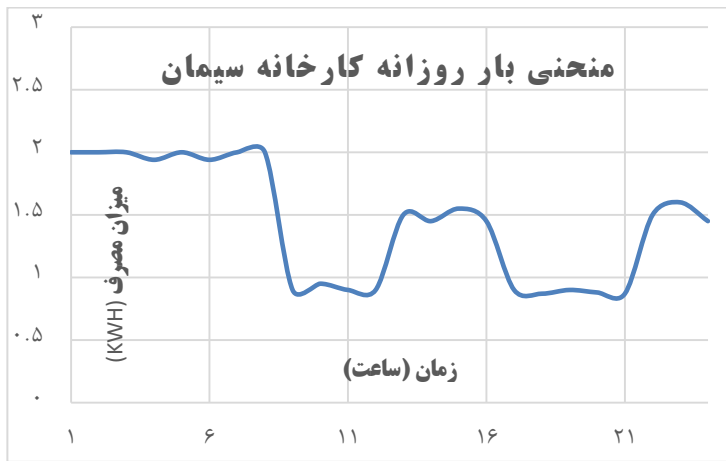
شکل (۵) منحنی بار روزانه کارخانه سیمان را نشان می‌دهد که از دستگاه پاور آنالیزر به دست آمده است. این نمودار جهت انتقال بار به ساعات کم‌باری و میان‌باری در برنامه پاسخ‌گویی بار مؤثر خواهد بود.

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 (45KW)
۲	خردکن سنگ آهک پیش‌هموژنیزه ذخیره ای (130KW)	۱۱	خردکن سنگ آهک پیش‌هموژنیزه بازیافتی (60KW)
۳	خردکن ماسه سنگ (385KW)	۱۲	پودر کردن سیمان (450KW)
۴	خردکن ماسه سنگ پیش‌هموژنیزه ذخیره‌ای (235KW)	۱۳	خردکن ماسه سنگ پیش‌هموژنیزه بازیافتی (235KW)
۵	آسیاب مواد اولیه (5750KW)	۱۴	بسته بندی سیمان (150KW)
۶	فن‌های خارج کننده (1400KW)	۱۵	سیمان بسته بندی نشده (18KW)
۷	کلینکر (680KW)	۱۶	کلینکر بسته بندی نشده (20KW)
۸	خنک کننده مواد (292KW)	۱۷	کمپرسور هوا (1280KW)
۹	آماده سازی و گرد شکنی (3810KW)	۱۸	

مأخذ: نتایج تحقیق



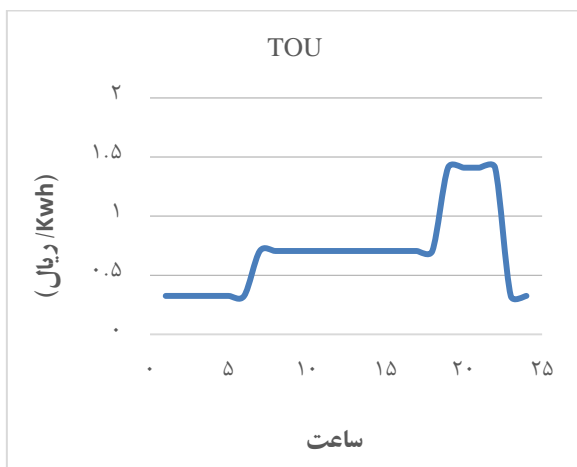
شکل ۵. منحنی بار روزانه کارخانه سیمان  
جدول ۲. تعرفه‌های مصارف تولید (صنعت و معدن)

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

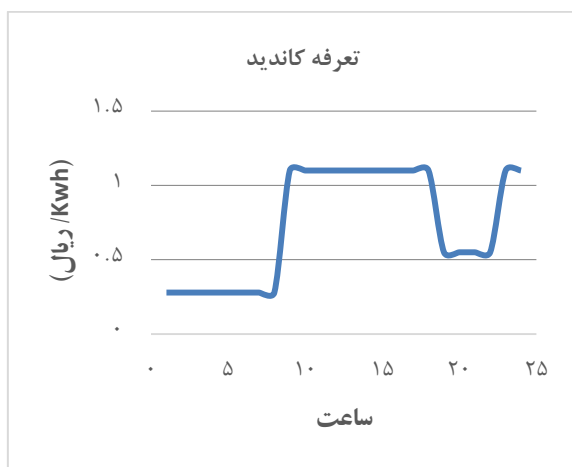
مأخذ: نتایج تحقیق

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 الی ۲۳ و مطابق زمان استفاده بهترین تعرفه کاندید الزام به تغییر

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

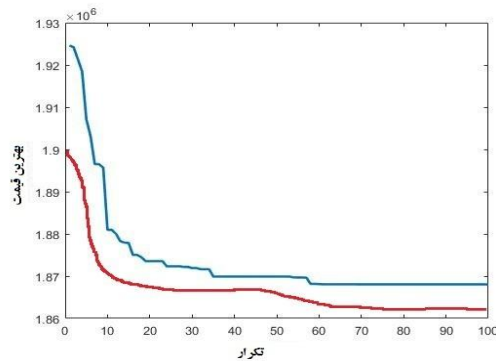


شکل ۶. منحنی قیمت - ساعت

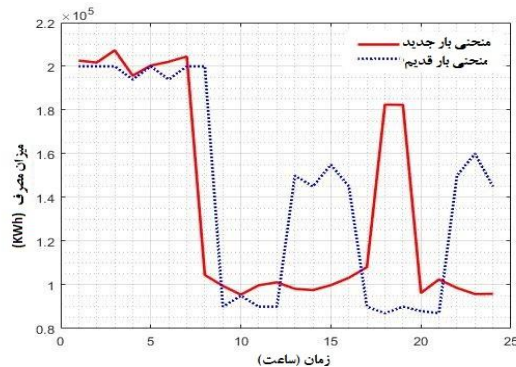


شکل ۷. منحنی قیمت - ساعت

شکل (۸) منحنی بهترین هزینه (Best Cost) با توجه به ۱۰۰ تکرار را نمایش می‌دهد. این منحنی براساس به‌کارگیری الگوریتم توده ذرات و با هدف کمینه کردن هزینه‌ها به‌دست آمده است. در شکل (۹) منحنی مصرف روزانه کارخانه سیمان را در دو وضعیت قدیم و شرایط بهینه شده به تصویر می‌کشد. شکل (۹) براساس تعرفه کاندیدی و امکان جابجایی بار براساس زمان استفاده به‌دست آمده است.



شکل ۸. منحنی بهترین هزینه کارخانه سیمان با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات



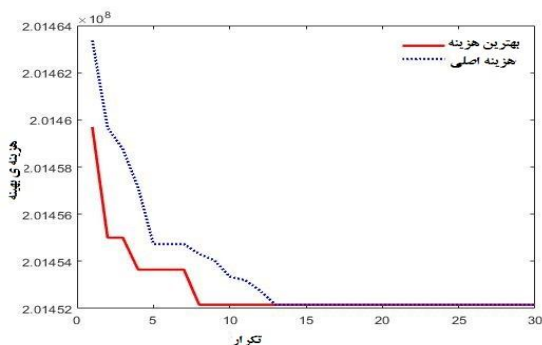
شکل ۹. منحنی مقایسه‌ای مصرف روزانه کارخانه سیمان با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات

همان طور که در شکل (۹) ملاحظه می شود که مصرف دقیقاً در شروع ساعت های اوج بار (خصوصاً در تابستان) یعنی ساعت های ۱۴ الی ۱۷ و ۱۹ الی ۲۴ به کمترین مقدار خود رسیده است. این بهینه ترین جواب ممکن می باشد و به راحتی کم شدن مصرف در ساعات اوج مصرف را نشان می دهد.

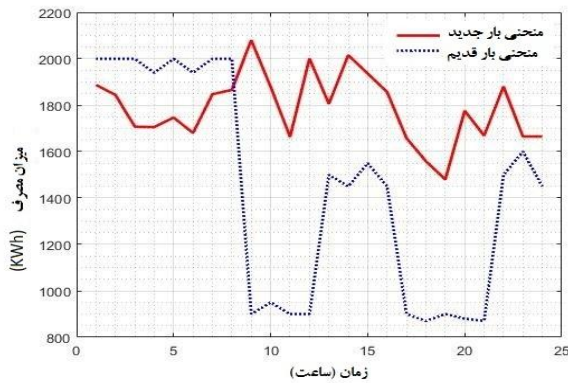
جهت بررسی نتایج به دست آمده توسط الگوریتم توده ذرات و امکان مقایسه آن با سایر روش های ابتکاری، الگوریتم ژنتیک به کار گرفته شد در شکل (۱۰) منحنی بهترین هزینه (Best Cost) با توجه به ۳۰ تکرار را نمایش می دهد، این منحنی مقدار کمینه تابع هزینه را به نمایش می گذارد و در شکل (۱۱) منحنی مصرف روزانه کارخانه سیمان را در دو وضعیت قدیم و شرایط بهینه شده توسط الگوریتم ژنتیک را به تصویر می کشد.

با توجه به خروجی روش الگوریتم ژنتیک بنظر می رسد، 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 ایم.

اما در مجموع جواب های الگوریتم توده ذرات مناسب تر به نظر می رسد، منحنی بار براساس تعرفه کاندید و بارهای منعطف به میان باری و کم باری متمایل شده و در مجموع کاهش هزینه ها را به همراه داشته است.

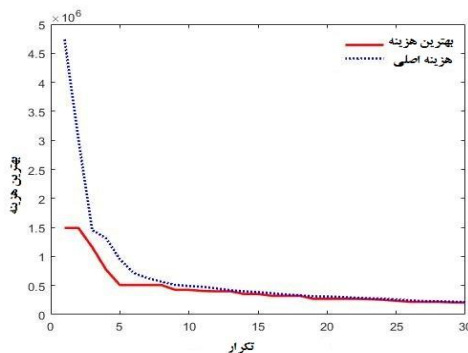


شکل ۱۰. منحنی بهینه ترین هزینه برای کارخانه سیمان با استفاده از الگوریتم ژنتیک



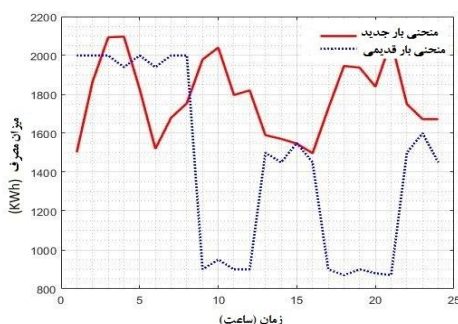
شکل ۱۱. منحنی مقایسه‌ای مصرف روزانه کارخانه سیمان با استفاده از الگوریتم ژنتیک

شکل (۱۲) تأثیر حقوق و دستمزد 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 تأثیر این 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 طبعاً 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.



شکل ۱۲. منحنی بهینه‌ترین هزینه برای کارخانه سیمان با تأثیر حقوق و دستمزد با استفاده از الگوریتم ژنتیک





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 (مهمی 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 تعداد 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 به‌طور کامل بررسی و مصارف عمده این کارخانه مطابق با جدول (۳) در زیر شرح داده می‌شود.

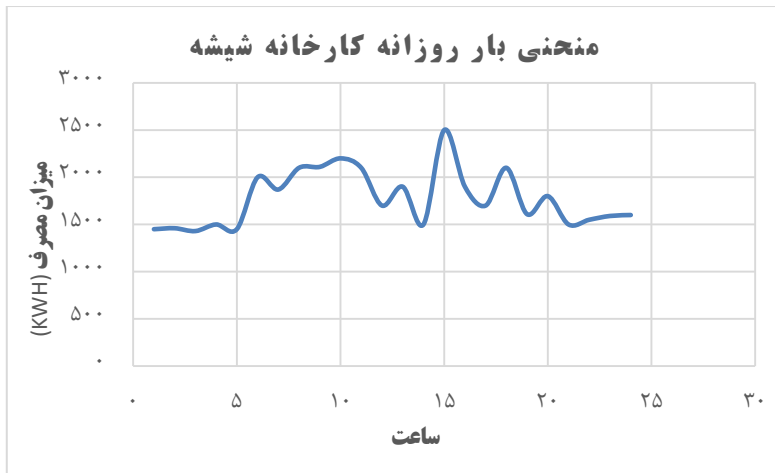
جدول ۳. مصرف روزانه برای بخش‌های مختلف کارخانه شیشه

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

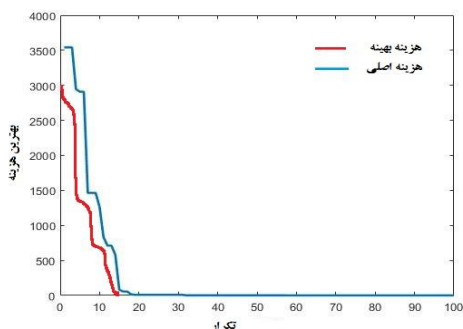
مأخذ: نتایج تحقیق

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 بی‌باری می‌باشد.

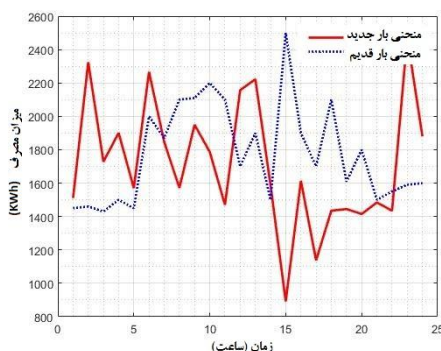
شکل (۱۵) منحنی بهترین هزینه (Best Cost) با توجه به ۱۰۰ تکرار را نمایش می‌دهد. این منحنی براساس به‌کارگیری الگوریتم توده ذرات و با هدف کمینه کردن هزینه‌ها به‌دست آمده است. در شکل (۱۶) منحنی مصرف روزانه کارخانه سیمان را در دو وضعیت قدیم و شرایط بهینه شده به تصویر می‌کشد. شکل (۱۶) براساس تعرفه کاندید و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



شکل ۱۴. منحنی بار روزانه کارخانه شیشه



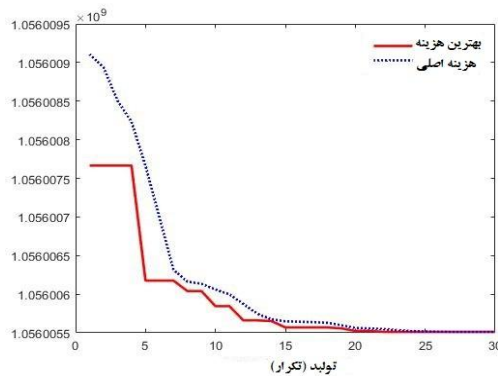
شکل ۱۵. منحنی بهینه ترین هزینه کارخانه شیشه با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات



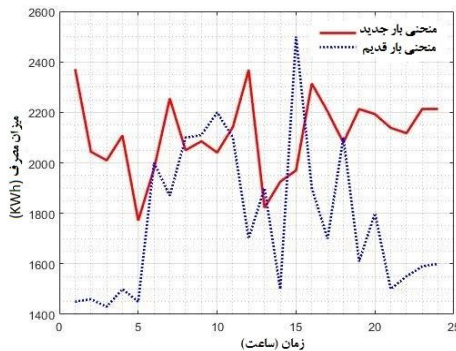
شکل ۱۶. منحنی مقایسه‌ای مصرف روزانه کارخانه شیشه با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات

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

جهت بررسی نتایج به دست آمده توسط الگوریتم توده ذرات و امکان مقایسه آن با سایر روش‌های ابتکاری، الگوریتم ژنتیک به کار گرفته شد. در شکل (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.



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 به نظر 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 به نظر می‌رسد. منحنی بار براساس تعرفه کاندید و بارهای منعطف به میان‌باری و کم‌باری متمایل شده و در مجموع کاهش هزینه‌ها به همراه داشته است.

## ۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله به مدل‌سازی تابع هدف بهترین طرح رفتاری مبتنی بر تعرفه 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 کمینه‌سازی از الگوریتم‌های توده ذرات و ژنتیک استفاده شد. جهت امکان تغییر منحنی بار و پاسخ‌گویی بار بایستی بارهای منعطف شناسایی و امکان انتقال آن به ساعات غیر پیک بررسی شود. بنابراین در هر دو مطالعه موردی این کار انجام شده است و براساس زمان استفاده سیستم بهینه‌سازی 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 بار کل؛ ۲. تغییر واریانس بار کل؛ ۳. تغییر تفاوت اوج تا فرود بار کل؛ 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 بهینه‌سازی دارند، چرا که با اعمال ضرایب، یک بخش مثبت به تابع هدف افزوده می‌شود. این امر، با حداقل‌سازی تابع هدف مغایرت دارد. اما در صنایع بزرگ همانند سیمان و شیشه، تأثیر حقوق و دستمزد به دلیل سه‌شیفته کاری در هر دو صنعت تأثیر چندانی ندارد، اما در صنایع کوچک و دو‌شیفته با احتساب ضرایب اضافه کاری در خارج از زمان کاری قطعاً مؤثر خواهد بود.

به دلیل 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 در آن 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 Firm-response to Non-credible Incentive Regulation Regimes", *Energy Policy journal*, No. 90, PP.287-299.

Albadi M.H., and E.F. El-Saadon (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.

- 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.