

بررسی تاثیر استفاده همزمان از سیستم ذخیره‌ساز حرارتی و برنامه‌های پاسخگویی بار برروی الگوی مصرف کاربران صنعتی شهر مشهد

سعید سید مهدوی چابک
گروه برق، واحد بجنورد، دانشگاه آزاد اسلامی
بجنورد، ایران
saeed.seyyedmahdavi@gmail.com

محمد حسین جاویدی دشت بیاض
دانشکده مهندسی، گروه برق دانشگاه فردوسی مشهد
مشهد، ایران
hossein_javidi@yahoo.com

فاطمه رادفر
دانشکده مهندسی، گروه برق دانشگاه فردوسی مشهد
مشهد، ایران
m.radfar2911@gmail.com

های ناخواسته جهش‌های قیمت و مشکلات زیاد دیگری را نیز بدنبال دارد.

کنترل غیرمستقیم تقاضا از طریق برنامه‌های پاسخگویی بار و بهره‌گیری از تعرفه‌های مبتنی بر زمان استفاده، روش مناسبی جهت کنترل بار توسط شرکت‌های برق می‌باشد. در این حالت مشترک می‌تواند با تنظیم بهینه الگوی بار مصرفی خود، پاسخ مناسب در دوره‌های پیک و غیرپیک بار به تعرفه‌های قراردادی داشته باشد. بطوریکه بدون هیچگونه تغییر در میزان انرژی مصرفی خود با برنامه‌ریزی بهینه، پیک تقاضا و هزینه تامین انرژی مصرفی خود را کاهش دهد.

از طرف دیگر، یکی از مسائلی که امروزه در سیستم‌های قدرت به ویژه شبکه قدرت ایران بسیار مورد توجه برنامه‌ریزان و بهره‌برداران سیستم قرار دارد، تغییرات زیاد و عدم یکنواخت بودن منحنی بار در ساعات مختلف شبانه‌روز است. این موضوع باعث شده است تا فقط در ساعات پیک‌بار از تمامی ظرفیت نصب شده تولید کشور استفاده شود و در ساعات کم‌باری و میان‌باری مقدار زیادی از ظرفیت نصب شده خارج از مدار باشد که این مطلب به معنای خواب سرمایه است. این موضوع محققان را برآن داشته است تا در اندیشه ذخیره‌کردن انرژی الکتریکی باشند. از آنجا که هزینه تولید برق و قیمت فروش آن در ساعات مختلف شبانه‌روز با توجه به راه افتادن بازار برق، تفاوت‌های چشمگیری دارد، بنابراین ایده ذخیره‌سازی برق در ساعات غیرپیک (برق ارزان) و استفاده از آن در ساعات پیک (برق گران) مطرح شد و طرح پاسخگویی تقاضا به‌مراه تکنولوژی ذخیره‌سازی انرژی بصورت یکپارچه وارد شبکه برق شدند. بنابراین مشتریان می‌توانند با توجه به تعرفه‌های قیمتی و ساعات اوج بار، مصرف خود را به ساعات میان‌باری یا کم‌باری انتقال دهند و یا با استفاده از سیستم ذخیره‌ساز، در ساعت‌هایی که قیمت انرژی پایین‌تر است برق را خریداری کرده و منابع ذخیره‌ساز خود را شارژ کنند. سپس با در نظر گرفتن راندمان منابع ذخیره‌ساز و

چکیده_ مدیریت بار، فرآیندی برای انعطاف‌پذیر نمودن منحنی بار مصرفی است. مشترکین صنعتی که از نظر تعداد درصد پایینی از مشترکین را تشکیل داده ولی سهم بالایی از مصرف برق را در سطح ملی دارا هستند، در صورت عملکرد مناسب و افزایش بهره‌وری انرژی مصرفی، می‌توانند در کاهش پیک بار سهم مناسبی داشته باشند. این مقاله با هدف کاهش میزان پیک بار و بهینه سازی هزینه تامین انرژی لازم برای مصرف کننده ارائه شده است. پیاده سازی هدف به این صورت انجام شده است که ابتدا به بررسی عملکرد روزانه مصرف کننده در طول سال با توجه به قیمت‌های تعرفه قراردادی شرکت توزیع پرداخته شده است، سپس به کمک تعیین مقدار بار سرمایه‌گذاری و گرمایشی مورد نیاز مشتری و با بهره‌گیری از روش مینیمم‌سازی هزینه‌های مشتری، به بهینه‌سازی ظرفیت و عملکرد سیستم ذخیره‌ساز حرارتی و همچنین هزینه تامین انرژی مصرفی مشتری می‌پردازیم. این مدل روی منحنی بار مشترکین صنعتی شبکه خراسان رضوی مشهد پیاده‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی تاثیر استفاده توأم از برنامه‌های پاسخگویی بار و سیستم ذخیره‌ساز حرارتی به ویژه در اوقات کم مصرف شبانه‌روز که قیمت برق ارزانتر است را نشان می‌دهد، که روش فوق به‌صورت قابل انعطافی قادر است ضمن رعایت محدودیت‌های فنی، پیک تقاضا و هزینه‌های مصرف کننده را تا حد امکان کاهش و پیرو آن ضریب بار منحنی مصرف روزانه را تا حد امکان افزایش دهد.

کلید واژه — الگوی مصرف روزانه صنعتی؛ برنامه‌های پاسخ به تقاضا؛ تقاضای گرمایشی و سرمایه‌گذاری؛ ذخیره‌سازی انرژی؛ سیستم ذخیره‌ساز حرارتی؛ شبکه هوشمند.

۱. مقدمه

با تجدید ساختار و ایجاد بازارهای عمده‌فروشی و خرده‌فروشی، شرکت‌های توزیع برق و بهره‌برداران شبکه علاقمند به مدیریت یا شکل دادن الگوی مصرف شده‌اند. یکی از مشکلات عمده بازارهای برق پاسخ به تقاضای مصرف در ساعات پیک می‌باشد که علاوه بر بروز خاموشی-

سمت مصرف کننده هستیم تا از طریق آن مزایای اقتصادی زیادی برای هر دو سمت (شرکت تأمین کننده و همچنین مشتریان) فراهم آوریم. همچنین تأثیر استفاده از برنامه های پاسخگویی تقاضا به همراه سیستم ذخیره ساز انرژی بر روی منحنی بار صنعتی، پیک بار و همچنین هزینه های تأمین انرژی مشتری نیز مورد بررسی قرار می گیرد.

A. سیستم ذخیره ساز حرارتی مورد مطالعه

استفاده از سیستم های ذخیره کننده انرژی در ساعات پرباری، نقش بسیار مهمی در مدیریت تأمین تقاضای انرژی الکتریکی خواهد داشت. زیرا ثابت بودن توان الکتریکی در بازه های زمانی کوتاه و همچنین از طرف دیگر تغییرات سریع مقدار تقاضا در مدت زمان مشابه از معضلات شبکه های برق بشمار می روند. ذخیره سازی انرژی حرارتی به طور کلی در مقایسه با سایر تکنولوژی های ذخیره سازی، ارزان تر و همچنین دارای بازده های عملیاتی بسیار بالا می باشد.

سیستم حرارتی مورد استفاده در این مطالعه از یک پمپ گرمایی و دو تانکر ذخیره سازی تشکیل شده است. انرژی حرارتی خروجی تانکر ۱ به عنوان تقاضای سرمایشی و انرژی حرارتی خروجی تانکر ۲ به عنوان بار گرمایشی مورد نیاز مشتری می باشد [7].

اطلاعات مربوط به تجهیزات سیستم ذخیره ساز حرارتی مورد استفاده در این مطالعه مطابق جدول ۱ خواهد بود.

جدول ۱- اطلاعات تجهیزات [7]

ردیف	هزینه	ضریب عملکرد	ضریب نزول سالانه
پمپ گرمایی	۵۵۸۹۰۰ (ریال /kW)	۳,۵	۹,۶٪
تانکر ذخیره ساز	۷۷۶۱۷,۵ (ریال /kwh)	۰,۹	۹,۶٪

B. مدل سازی سیستم ذخیره ساز حرارتی به همراه برنامه های پاسخگویی بار

استفاده از سیستم های ذخیره سازی انرژی در کنار برنامه های پاسخ به تقاضا برای دستیابی به حداکثر مزایای اقتصادی این برنامه ها امری ضروری می باشد. در این مدل هدف برنامه ریزی اصلی، بدست آوردن ظرفیت و عملکرد بهینه سیستم ذخیره ساز حرارتی در افق زمانی میان مدت می باشد و سپس با استفاده از این ظرفیت بهینه و با در نظر گیری برنامه های پاسخگویی بار یک مسئله بهره برداری خواهیم داشت و تابع

ضریب تبدیل این منابع، در ساعت های پیک که قیمت انرژی بالاتر است از این انرژی ذخیره شده استفاده کنند، در نتیجه علاوه بر کاهش بار پیک در ساعات اوج، مشتریان هزینه پایین تری نیز پرداخت می کنند و همچنین منحنی بار نیز هموارتر می شود [1].

در اکثر مقالات ارایه شده برنامه های پاسخ به تقاضا به تنهایی و بدون در نظر گرفتن سیستم های ذخیره ساز بررسی شده اند. از جمله مقالاتی که اخیراً در این زمینه مطرح شده اند می توان به مرجع [2] نگاهی داشت که در آن مزایای مدیریت بار برای مصرف کنندگان صنعتی بیان شده است، که از آن جمله می توان به کاهش پیک تقاضا، کاهش تلفات، افزایش بهره وری از تجهیزات در ضریب بار بالاتر اشاره داشت. مرجع [3] از طریق کنترل بارهای روشنایی و تهویه هوا به کمک الگوریتم ژنتیک به برنامه ریزی منابع پرداخته است و مرجع [4] با هدف پیک سایی و کاهش هزینه ها، به کمک شبکه عصبی به جابجایی بار پیک پرداخته اند. مقاله [5] برنامه های پاسخ به تقاضا با هدف کاهش بار پیک بر اساس زمان بهره برداری و برنامه های پرداخت تشویقی را مدل نموده و تاثیر این برنامه ها را بر روی منحنی بار ایران بررسی نموده است. ولی هیچگونه سیستم ذخیره سازی استفاده نشده است.

هدف اصلی در این مقاله بررسی آثار بکارگیری سیستم ذخیره ساز حرارتی بر کارکرد برنامه های پاسخگویی تقاضا می باشد. بنابراین در گام اول؛ ابتدا به تعیین ظرفیت و عملکرد بهینه سیستم ذخیره ساز در افق زمانی میان مدت، از روش کمینه کردن هزینه های مشتری می پردازیم. سپس در گام دوم؛ هدف، بهینه سازی هزینه تأمین انرژی لازم برای مصرف کننده با در نظر گرفتن امکان حضور برنامه های پاسخگویی بار می باشد. در نهایت مدل و عملکرد برنامه های پاسخگویی بار با حضور سیستم ذخیره ساز حرارتی بر روی منحنی بار صنعتی شبکه استان خراسان رضوی - مشهد شبیه سازی شده و تغییرات منحنی بار مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. نتایج شبیه سازی تاثیر تغییرات قیمتی، پرداخت های تشویقی به مشترکین بابت کاهش بار و همچنین جریمه پرداختی بابت عدم تعهد به کاهش بار مطابق با مفاد قرارداد فیما بین، بعلاوه حضور و عدم حضور سیستم های ذخیره سازی حرارتی در کنار این برنامه های پاسخگویی بار را نیز مورد بررسی قرار داده است [6].

۲. بیان مساله

در این مقاله به دنبال یافتن روشی مؤثر و بهینه برای مدل سازی و عملکرد بهتر برنامه های پاسخگویی بار به همراه سیستم ذخیره ساز در

معادله (۲) تا (۸) بیان شده‌اند. قیود مربوط به عملکرد سیستم ذخیره-ساز بصورت زیر می‌باشد:

$$S_{H1}(s, t + 1) = \eta_{s1} \cdot S_{H1}(s, t) + S_{H1, in}(s, t) - S_{H1, out}(s, t) - \varepsilon_{H1}(s, t) \quad (2)$$

$$S_{H2}(s, t + 1) = \eta_{s2} \cdot S_{H2}(s, t) + S_{H2, in}(s, t) - S_{H2, out}(s, t) - \varepsilon_{H2}(s, t) \quad (3)$$

قید تعادل انرژی الکتریکی بصورت زیر می‌باشد، این قید سهم انرژی الکتریکی ذخیره شده در تانک‌ها را مشخص می‌کند و بیانگر اینست که پمپ گرمایی به تانکر ۱ و تانکر ۲ بطور همزمان برق نمی‌دهد.

$$S_{H1, in}(s, t) + S_{H2, in}(s, t) = \eta_{HP} \cdot E(s, t) \quad (4)$$

$$S_{H1, in}(s, t) * S_{H2, in}(s, t) = 0 \quad (5)$$

قیود مربوط به حد ظرفیت سیستم ذخیره‌ساز بصورت زیر مدل می‌شوند. این قیود بیانگر اینست که مقدار توانی که به منبع ذخیره‌ساز وارد و یا از آن خارج می‌شود باید کمتر از مقدار ظرفیت بهینه آن باشد.

$$\eta_{HP} \cdot E(s, t) \leq HP_{capa} \quad (6)$$

$$S_{H1}(s, t) \leq S_{H1, capa}$$

$$S_{H2}(s, t) \leq S_{H2, capa}$$

قیود مربوط به هزینه تجهیزات مربوط به سیستم ذخیره‌ساز:

$$S_{cost} = (S_{H1, capa} + S_{H2, capa}) \cdot C_s \quad (7)$$

$$HP_{cost} = HP_{capa} \cdot C_{HP}$$

قیود مربوط به بار مصرفی و برنامه‌های پاسخگویی بار نیز بصورت زیر مدل‌سازی می‌شود:

$$E_{OLD}(s, t) = S_{H1, out}(s, t) + S_{H2, out}(s, t) \quad (8)$$

$$\Delta D(s, t) = E(s, t) - E_{OLD}(s, t)$$

$$\text{If } \Delta D(s, t) > 0 \rightarrow \sigma(s, t) = 0$$

$$\text{Else } \rightarrow \sigma(s, t) = 1$$

در روابط فوق $S_{H1}(s, t)$ و $S_{H2}(s, t)$ به ترتیب انرژی حرارتی (سرمایشی و گرمایشی) ذخیره شده (kwh) در تانک‌های ۱ و ۲، ورودی (kwh) به تانک‌های ۱ و ۲، $S_{H1, IN}(s, t)$ و $S_{H2, IN}(s, t)$ انرژی حرارتی (سرمایشی و گرمایشی) و $S_{H1, OUT}(s, t)$ و $S_{H2, OUT}(s, t)$

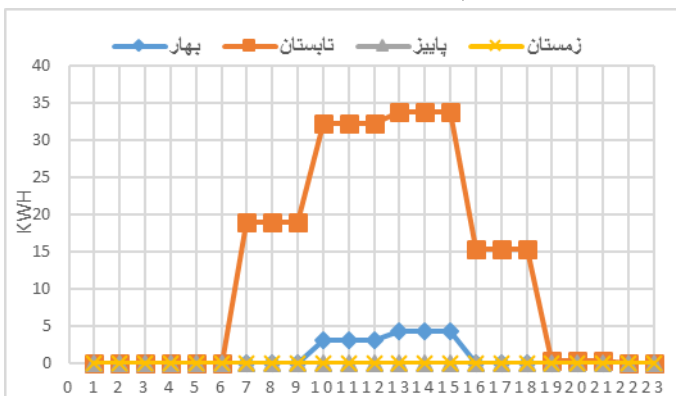
هدف، بهینه‌سازی هزینه تأمین انرژی لازم برای مصرف‌کننده می‌باشد. در مسئله پیش‌رو قیودی نظیر: تعادل توان مربوط به عرضه و تقاضا، قیود مربوط به حد ظرفیت و عملکرد و حد شارژ و دشارژ سیستم ذخیره‌ساز، قیود مربوط به بار و برنامه‌های پاسخ به تقاضا و ... در نظر گرفته شده‌اند.

تابع هدف اصلی مسئله به صورت زیر می‌باشد [7]:

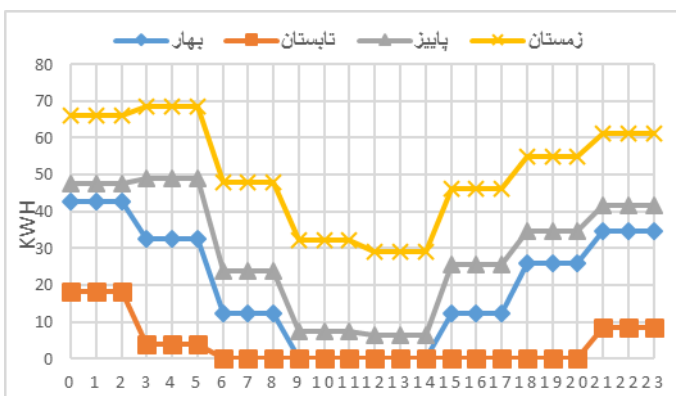
$$Z = \min \sum_s \{ \sum_t E(s, t) \cdot p(s, t) \cdot S_{day} + E_k(s) \cdot p_k(s) + \sigma(s, t) \cdot \Delta D(s, t) - (1 - \sigma(s, t)) \cdot \Delta D(s, t) \cdot P_{inc} \} + \delta S_{cost} + \delta HP_{cost} \quad (1)$$

بخش اول تابع هدف، مربوط به هزینه انرژی، بخش دوم آن، بیانگر هزینه خرید انشعاب اولیه از تأمین‌کننده می‌باشد. بخش ۳ و ۴ بیانگر حضور برنامه‌های پاسخگویی بار می‌باشد. بخش ۵ و ۶ هزینه‌های مربوط به تجهیزات سیستم ذخیره‌ساز حرارتی (هزینه پمپ گرمایی و تانکر ذخیره‌ساز) را شامل می‌شود. در معادله (۱)، s بیانگر فصول مختلف یک سال (بهار، تابستان، پاییز، زمستان) می‌باشد و t مربوط به زمان بوده که شامل ۲۴ ساعت شبانه‌روز می‌باشد. $E(s, t)$ مقدار الکتریسیته مورد نیاز برای ورودی پمپ بخار (سرمایش و گرمایش) در فصل s و زمان t و برحسب kwh می‌باشد، $P(s, t)$ قیمت برق در فصل s و زمان t (kwh/ریال) و تعداد روزهای هر فصل نیز با $S_{day}(s)$ نشان داده شده است. $E_k(s)$ مقدار دیماند توافق شده با شرکت تأمین‌کننده (kw) و $p_k(s)$ قیمت این دیماند (Season, kwh/ریال) می‌باشد. S_{cost} و HP_{cost} هزینه‌های مربوط به پمپ گرمایی و تانک‌های ذخیره‌ساز می‌باشند (ریال)، ضریب δ بیانگر ضریب نزول سالیانه است. همچنین $\Delta D(s, t)$ تغییرات بار مصرفی در فصل s و زمان t (kwh) می‌باشد، $P_{pen}(s, t)$ هزینه مربوط به جریمه پرداختی از طرف مشتری، بازای هر کیلووات ساعت مصرف بیشتر (از آنچه در قرارداد ذکر شده است) در ساعات پیک (kwh/\$) و $P_{inc}(s, t)$ هزینه مربوط به پرداخت تشویقی از طرف شرکت تأمین‌کننده، بازای هر کیلووات ساعت بار کاهش یافته در ساعات پیک (kwh/\$) و یا جابه‌جایی بار از ساعات پیک به ساعات غیرپیک، می‌باشد، $\sigma(s, t)$ متغیر باینری است که با توجه به مثبت یا منفی بودن $\Delta D(s, t)$ ، باعث می‌شود، یکی از دو ترم مربوط به دریافت پاداش تشویقی و یا ترم مربوط به پرداخت جریمه در تابع هدف فعال شود. بدین صورت که؛ اگر $\Delta D(s, t) > 0$ باشد به این معناست که $\sigma(s, t) = 0$ و در غیر اینصورت $\sigma(s, t) = 1$ می‌باشد. قیود مربوط به بهینه‌سازی تابع هدف (۱) از

فضای اشغال شده توسط مشتری، ظرفیت گرمایی ویژه هوا و راندمان موردنظر برای مصرف کننده صنعتی بدست می آید بترتیب در شکل- های ۱ و ۲ قابل ترسیم است.



شکل ۱- بار سرمایشی ثبت شده در ۴ فصل مختلف [6]



شکل ۲- بار گرمایشی ثبت شده در ۴ فصل مختلف [6]

۴. نتایج شبیه سازی

در این بخش ابتدا به تعیین ظرفیت و عملکرد بهینه سیستم ذخیره- ساز حرارتی با توجه به نیاز مشتری می پردازیم. سپس با در نظر گرفتن برنامه های پاسخگویی بار به بهینه سازی هزینه تامین انرژی لازم برای مصرف کننده می پردازیم. بنابراین کارکرد استفاده توام از سیستم ذخیره ساز حرارتی به همراه برنامه های پاسخگویی بار روی منحنی بار مشترکان صنعتی شهرستان مشهد که برق مورد نیاز خود را طبق تعرفه های قراردادی از شرکت توزیع تامین می نمایند، پیاده سازی شده است و تغییرات منحنی بار الکتریکی همراه با تقاضای گرمایشی و سرمایشی مشتری، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. همچنین تأثیر استفاده از برنامه های پاسخگویی تقاضا به همراه سیستم ذخیره-

به ترتیب انرژی حرارتی (سرمایشی و گرمایشی) عرضه شده توسط تانک های ۱ و ۲ در فصل S و زمان t، η_{s1} و η_{s2} به ترتیب ضریب عملکرد پمپ گرمایی و تانک های ۱ و ۲ می باشند، $\epsilon_{H1}(S, t)$ و $\epsilon_{H2}(S, t)$ خروجی حرارتی در تانک های ۱ و ۲ را نشان می دهد. $S_{H1, capa}$ و $S_{H2, capa}$ ظرفیت تانک های ذخیره سازی (kwh) و HP_{capa} ظرفیت پمپ گرمایی (kw) می باشند. $E_{OLD}(S, t)$ مقدار الکتریسیته مورد نیاز بدون وجود منبع ذخیره ساز در فصل S و زمان t و برحسب kwh می باشد.

۳. اطلاعات ورودی مساله

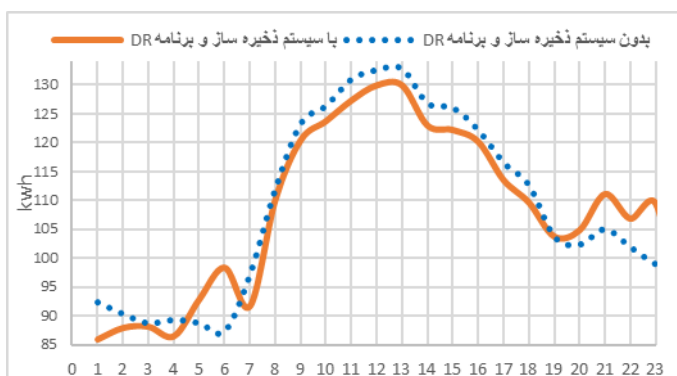
مصرف مشترکین مختلف بر حسب فصل، روز هفته و ساعت شبانه روز متغیر است لذا استخراج الگوی رفتار بار و تعیین مقادیر آن مسئله بسیار مهمی است. در این مقاله از روش اندازه گیری مقادیر پست توسط ثبات ها استفاده شده است و اطلاعات مورد نیاز برداشت شده است. در این شبیه سازی تعرفه های قیمتی متفاوتی در فصل S و زمان t با توجه به سه بازه کم باری (از ساعت ۲۲ تا ۷)، میان باری (از ساعت ۱۵ تا ۲۲) و پر باری (از ساعت ۷ تا ۱۵) برای خرید برق مشتریان با توجه به تعرفه های برق استان خراسان رضوی در سال ۱۳۹۵ تعیین شده است که نحوه ی قیمت گذاری برای مشترک صنعتی مطابق جدول ۲ می باشد [8].

همچنین تشویق هایی برای مصرف کننده در طول دوره کم باری و تنبیه هایی برای مصرف در طول دوره اوج باری نیز در نظر گرفته شده است تا مشتری بتواند بدون هیچ تغییری در میزان مصرف خود، با استفاده از کاهش یا جابه جایی بار به ساعات غیر پیک همچنین شرکت در برنامه های پاسخگویی بار و استفاده توام از سیستم ذخیره ساز حرارتی، پیک بار همچنین هزینه های خود را کاهش دهد [6].

جدول ۲- هزینه خرید انرژی برای مصارف صنعتی [8]

ساعات مصرف	قیمت برق (ریال اکیلووات ساعت)
میان باری	۷۲۱
اوج بار	۱۴۴۲
کم باری	۳۶۰٫۵

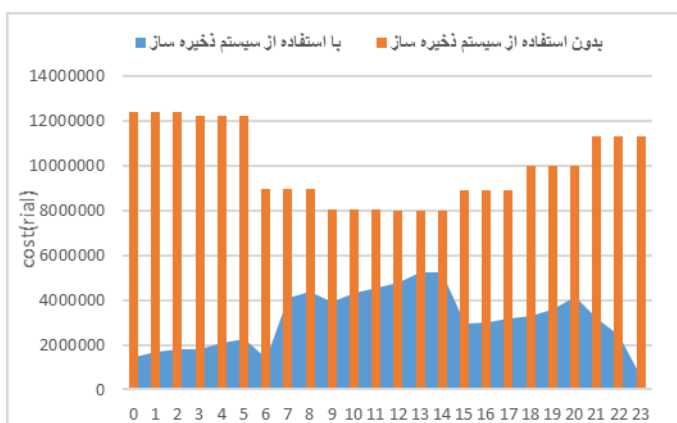
منحنی مربوط به تقاضای سرمایشی و گرمایشی که با توجه به پارامترهایی نظیر منحنی دمایی شهر مشهد، دمای آسایش و حجم



شکل ۴- مقایسه منحنی بار سرمایشی، گرمایشی و سایر مصارف الکتریکی با و بدون استفاده از سیستم ذخیره ساز [6]

با توجه به شکل ۴ مقدار بار در ساعات پیک با کاهش ۵٫۷٪ مواجه شده است. این امر نیز به دلیل تامین بار سرمایشی و گرمایشی از طریق انرژی ذخیره شده در سیستم ذخیره ساز می باشد. همچنین در استفاده همزمان سیستم ذخیره ساز حرارتی به همراه برنامه های پاسخگویی بار، مقدار بار شیفت یافته به سمت بازه های کم باری که قیمت برق کم تر است، در سیستم ذخیره ساز، ذخیره شده و در بازه های پیک باری که قیمت برق بیشتر است مورد استفاده قرار می گیرد که این امر باعث می شود تا مشتری هزینه کمتری پرداخت کند.

مقدار کاهش هزینه ها در حالت استفاده توأم از سیستم ذخیره ساز حرارتی و برنامه های پاسخگویی بار نسبت به حالت پایه که سیستم ذخیره ساز و برنامه های پاسخگویی بار وجود ندارند در شکل ۵ و ۶ آورده شده است.



شکل ۵- هزینه های مشتری با و بدون استفاده از سیستم ذخیره ساز [6]

ساز انرژی بر روی منحنی بار، پیک بار و همچنین هزینه های پرداختی برق بررسی می شود. کارایی این روش هم از دیدگاه شرکت تامین کننده و هم از دیدگاه مشتری می باشد.

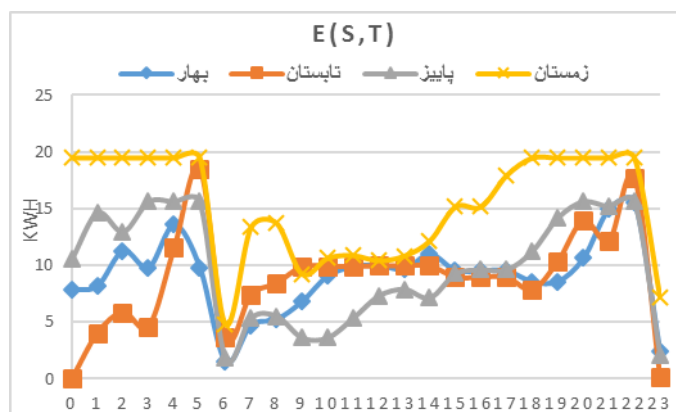
این مدل پیشنهادی غیرخطی پس از انجام فرایند خطی سازی، در نرم افزار GAMS به صورت یک مسئله بهینه سازی خطی عدد صحیح شبه سازی شده است.

ظرفیت بهینه سیستم ذخیره ساز و مقدار کل هزینه ها برای مشتری صنعتی در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- ظرفیت سیستم ذخیره ساز حرارتی [6]

پمپ گرمایی (kwh)	تانکر ذخیره ساز ۱ (kw)	تانکر ذخیره ساز ۲ (kw)	هزینه کل (ریال)
۱۹،۴۸	۶۴،۱۱	۶۱،۱۷	۷۱۹/۴۱۹/۱۲۲

در استفاده همزمان سیستم ذخیره ساز حرارتی با ظرفیت مشخص شده طبق جدول ۳، به همراه برنامه های پاسخگویی بار، منحنی مربوط به مقدار انرژی الکتریکی لازم برای ورودی پمپ گرمایی که از شبکه برق تامین می شود، برای فصول مختلف سال، در شکل ۳ قابل مشاهده می باشد.



شکل ۳- مقدار الکتریسیته مورد نیاز برای ورودی پمپ گرمایی [6]

تاثیر حالت استفاده توأم از برنامه های پاسخگویی بار به همراه سیستم ذخیره ساز حرارتی نسبت به حالت عدم استفاده از سیستم ذخیره ساز و برنامه پاسخگویی بار بر روی منحنی بار الکتریکی همراه با تقاضای سرمایش و گرمایش مربوط به مشترک صنعتی پیاده شده است و نتیجه این امر در شکل ۴ قابل مشاهده می باشد.

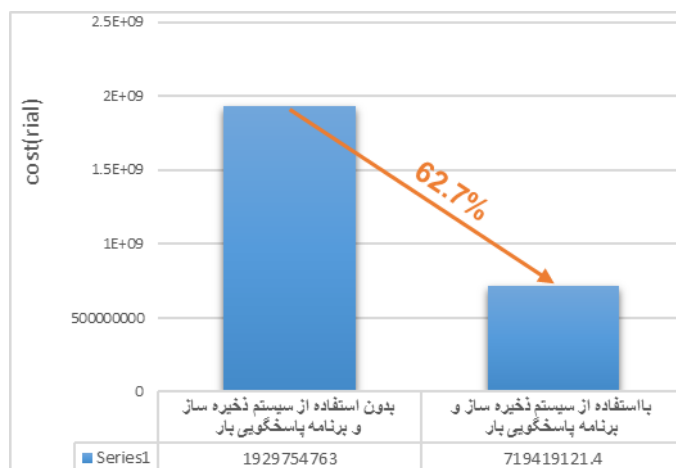
demand response with quantification of residential user's discomfort” *IEEE Trans on smart grid*, vol.6, issue.5, p.p.2333-2342, FEBRUARY 2015.

- [2] Ashok, S., Banerjee, R., “Load-management applications for the industrial sector.” *Applied Energy*, vol. 66, pp. 105-111, 2000.
- [3] Kung, C. H., Devaney, M. J., “Power source scheduling and adaptive load managements via a genetic algorithm embedded neural network”, *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, vol. 2, pp. 1061-1065, 2007.
- [4] Babu, P. R., Divya, V. P. S., Venkatesh K. “Application of ANN and DSM Techniques for peak load management a Case study”, *IEEE Sustainable Energy Technologies*, pp. 384-388, 2010.
- [5] H. Aalami, G. R. Yousefi, and M. Parsa Moghadam, “Demand response model considering EDRP and TOU programs,” *Transm. Distrib. Expo. Conf. 2008 IEEE PES Powering Toward. Futur. PIMS 2008*, 2011.

[۶] فاطمه رادفر " توسعه مدلی برای پاسخگویی تقاضا در شبکه هوشمند در حضور منابع ذخیره‌سازی حرارتی" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه برق، پاییز ۹۶.

- [7] K. Furusawa, H. Sugihara, K. Tsuji, Y. Mitani, “A Study of Economic Evaluation of Demand-Side Energy Storage System in Consideration of Market Clearing Price”, *Electrical Engineering in Japan*, Vol. 158, No. 1, 2007.

[۸] پورتال شرکت توزیع نیروی برق استان خراسان رضوی- مشهد.



شکل ۶- کاهش هزینه‌های مشتری با استفاده از سیستم ذخیره ساز [6]

۵. نتیجه‌گیری

هدف اصلی در این مقاله بدست آوردن ظرفیت بهینه با توجه به نیاز و حساسیت مشتری صنعتی و بررسی تاثیر توام استفاده از برنامه‌های پاسخگویی بار همراه با سیستم ذخیره‌ساز حرارتی برای مشترکان صنعتی شهر مشهد می‌باشد.

نتایج بدست آمده مزیت استفاده توام از برنامه‌های پاسخ به تقاضا به همراه سیستم ذخیره‌ساز حرارتی، جهت کاهش در هزینه‌های تامین برق و تقاضای پیک مصرف‌کننده را به وضوح نشان می‌دهد. بطوریکه برای نمونه مورد مطالعه ۵,۷٪ کاهش در پیک تقاضا مشهود است که علت آن تامین بار سرمایشی و گرمایشی از طریق ذخیره انرژی در تانکرهای ذخیره‌ساز می‌باشد که از دیدگاه شرکت تامین‌کننده بار، به دلیل افزایش قابلیت اطمینان شبکه در ساعات پیک بسیار مهم است. همچنین نتایج پیاده‌سازی این مدل روی منحنی بار همراه با تقاضای گرمایشی و سرمایشی حاکی از آنست که مقدار بار شیف‌ت یافته به سمت بازه‌ی کم‌باری که قیمت برق پایین‌تر است برابر با ۱۱,۱۷٪ می‌باشد که این مقدار در تانکرهای ذخیره‌ساز، ذخیره شده و در بازه‌هایی که قیمت برق بیشتر است مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر آن، هزینه‌های تامین انرژی مشتری نیز به مقدار ۶۲,۷٪ کاهش یافته است. این امر به دلیل خرید انرژی الکتریکی و ذخیره آن در ساعت‌هایی که انرژی الکتریکی بهای کمتری دارد و همچنین استفاده از آن در ساعتی که قیمت برق بالاتر است، رخ می‌دهد.

مراجع

- [1] N.Good, E.Karangelos, A.Navarro Espinosa, P.Mancarella, "Optimization under uncertainty of thermal storage based flexible



گواهینامه ارائه مقاله

بین ویدیکوایی می شود ستا را عنوان:

بررسی تأثیر استفاده همزمان از سیستم ذخیره ساز حرارتی و یونانه های پاسخگویی باز پروی الگوی مصرف کاربران صنعتی شهر مشهد

نویسنده / نویسندگان: فاطمه لادویی محمد حسین جاویدی دشتی یاسین سید مهدی مالک

در چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی دانش بنیان و نوآوری، در مورخه ادی ماه ۱۳۹۶ در دانشگاه علم و صنعت ایران، به صورت سخنرانی ارائه گردید.
توقتی روز انزادون شمارا در عرصه های علمی و اجرایی کشور عزیزمان ایران آرزو مندیم.



دکتر بهروز مینایی بیدکی
رئیس کمیته علمی



Location:
Iran University of Science and Technology,
Hengam St., Resalat Sq., Tehran, Iran,
Postal Code: 16846-13114
Website: www.kbei.ir, Email: info@kbei.ir

ID No: KBEI-0172
Code: HN-05190547