ارائه مدلی جدید برای مدیریت هوشمند مصرف برق تجهیزات بیمارستانی با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی

حوریه سادات حدادی[۱]
حامد شکوری گنجوی[۲]
عالیه کاظمی[۳]
آرمین دهناد[۴]

صفحات ۱۵ تا ۳۵
دریافت: ۹۴/۲/۴
پذیرش: ۹۴/۳/۲۵

چکیده

امروزه مدیریت مصرف انرژی در کانون توجه دولتمردان سراسر جهان قرار گرفته است. مصرف بالای انرژی، هزینه‌های بالایی را در بلندمدت و نیز در سطح ملی به دنبال دارد. محققان زیادی مدل‌هایی را برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها ارائه داده‌اند. در این مقاله سعی شده است که با اصلاح الگوی مصرف و ارائه یک برنامه پیشنهادی، مصرف انرژی برق در بیمارستان‌ها بهینه شود. مدل پیشنهادی، یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی است. توابع هدف شامل حداقل‌کردن پیک مصرف انرژی و حداقل کردن هزینه برق است و محدودیت‌هایی همچون الزامات انرژی روزانه و ترجیحات مصرف‌کننده در چارچوب مدل پیشنهادی و با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط مدل شده است. سه سناریوی مختلف با توجه به توابع هدف متفاوت در نظر گرفته شده است. مدل طراحی شده قابلیت پیاده‌سازی در یک واحد بیمارستانی را دارد. سناریوی تلفیقی که هر دو هدف را به‌طور همزمان در نظر می‌گیرد، سناریوی برتر است. مدل پیشنهادی برای مدیریت هوشمند مصرف برق قابلیت اجرایی دارد و اجرای آن در بیمارستان‌ها توصیه می‌شود.

واژگان کلیدی: مدیریت مصرف انرژی، بیمارستان، ساختمان‌های هوشمند، بهینه‌سازی، برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط و برنامه‌ریزی آرمانی

۱. کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تهران
۲. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تهران
۳. استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، نویسنده مسئول (aliyehkazemi@ut.ac.ir)
۴. کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مدیریت و فناوری، دانشگاه علوم و فنون مازندران

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

بسیاری از کارشناسان معتقدند که یک تکامل اساسی در سیستم انرژی الکتریکی مورد نیاز است. از جمله اهداف این تکامل اساسی، شبکه‌های تولید برق نسل جدید سازگار با محیط زیست، قابل اعتماد و دارای سیستم هوشمند است که به‌طور کلی به‌عنوان شبکه هوشمند[1] شناخته می‌شود. در شبکه هوشمند، فناوری‌های پیشرفته، بازدهی تولید و انتقال انبوه در شبکه را بهبود می‌دهند. فناوری اطلاعات و ارتباطات[2] به‌طور گسترده در شبکه‌ها برای افزایش بازدهی، اعتمادسازی و انعطاف‌پذیری به خدمت گرفته می‌شوند (Li et al.,2010:173). در نهایت، مصرف‌کنندگان با مدیریت فعالانه مصرف انرژی می‌توانند از دریافت قبوض مصرفی با هزینه کمتر بهره ببرند. در حال حاضر شبکه هوشمند به یک موضوع تحقیقاتی جذاب تبدیل شده است و محور اصلی پژوهش‌ها، طراحی زیرساخت‌های کاربردی ICT و برنامه‌های کاربردی مدیریت انرژی، مانند مدیریت منابع توزیع انرژی، مدیریت دستگاه‌های الکتریکی و تکنیک‌های پاسخ به تقاضا[3] است (Mohsenian-Rad et al., 2010:320).

در زمینه بهره‌وری انرژی، پاسخ به تقاضا یک برنامه اساسی در سطح توزیع شناخته می‌شود. مصرف‌کنندگان که به‌طور سنتی به پرداخت نرخ ثابت برای انرژی الکتریکی عادت کرده‌اند، اکنون می‌توانند مصرف انرژی الکتریکی خود را با توجه به تعرفه‌های زمان استفاده[4] به‌طور عمده مدیریت کنند (Albadi & El-Saadany, 2007: 2; Lui et al., 2010:66). در سال ۲۰۰۶، پیرکو مدیریتی از مصرف انرژی بر اساس تعرفه قیمت انرژی الکتریکی متغیر با زمان ارائه را داد که در کاهش پیک توان مصرفی تأثیر داشت (Pyrko, 2006:1)، با وجود این، توازن برقرارکردن در بین بارهای ساختمان فقط در صورتی امکان‌پذیر است که مصرف‌کنندگان هم بتوانند و هم مشتاق باشند تا از اطلاعات تعرفه‌ها بهره جویند. دور از ذهن است که از بیشتر مصرف‌کنندگان توقع داشت که بهترین عملکرد اقتصادی بارهای ساختمان را تحت تعرفه‌های متغیر با زمان شناسایی کنند؛ به‌طوری که منجر به بروز اضافه بار هم نشود. به همین علت وجود یک سیستم تصمیم‌گیری خودکار که به‌طور مستقیم عملکرد بارهای ساختمان را بر عهده بگیرد و

1. Smart grid
2. Information and Communication Technology (ICT)
3. Demand response
4. Time of Use Tarrif (ToU Tarrif)

Archive of SID

www.SID.ir

توصیه‌های لازم را به مصرف‌کننده کند، بسیار مطلوب است. مدل‌سازی در حوزه بیمارستان و در نظر گرفتن این دو هدف اصلی در مدیریت انرژی مصرفی شامل کمینه‌سازی پیک توان مصرفی در ساعات روز و به حداقل رساندن هزینه برق مصرفی در طول روز است که این مقاله را از سایر مقاله‌های مرتبط متمایز می‌کند. در تحقیقات مرتبط پیشین معمولاً یکی از اهداف مورد بررسی در این مقاله مورد بحث قرار گرفته‌اند. در ادامه، مبانی نظری و پیشینه تحقیق مرور و سپس مدل‌سازی انجام شده است. پس از آن مدل پیشنهادی برای بیمارستان مورد مطالعه حل و نتایج حاصل از حل مدل ارائه شده و در نهایت، نتیجه‌گیری ارائه شده است.

مبانی نظری پژوهش

بیمارستان‌ها و مراکز درمانی از حیاتی‌ترین سازمان‌های هر جامعه به حساب می‌آیند. موقعیت استراتژیک آنها در مقابله با حوادث بحرانی و نقش اساسی آنها در افزایش سطح سلامت ورفاه بهداشتی کشور، حساسیت موضوع را بیشتر کرده است. در ایران نزدیک به ۱۲۰ هزار تخت بیمارستانی در بیش از هزار بیمارستان خصوصی و دولتی، حدود ۱۸ هزار خانه بهداشت و ۲۶۰۰ مراکز بهداشتی و درمانی وهزاران مرکز پاراکلینیک مانند داروخانه، دندان‌پزشکی، رادیولوژی، آزمایشگاه و فیزیوتراپی وجود دارد. مصرف حامل‌های انرژی جهت تجهیزات، گرمایش و سرمایش در این مراکز بسیار بالاست. با توجه به تعداد نسبتاً زیاد این مراکز، شبانه‌روزی بودن بسیاری از آنها و نیاز بالایی که به حامل‌های انرژی دارند ممیزی انرژی در آنها اهمیت خاصی پیدا می‌کند. ذکر این نکته که بیمارستان‌های دولتی نسبت به بیمارستان‌های خصوصی ۲/۲۵ برابر برق بیشتر مصرف می‌کنند، بر اهمیت ممیزی خواهد افزود (ریاحی و همکاران، ۱۳۸۹: ۶۰).

هزینه انرژی در بیمارستان حدود ۵ تا ۷ درصد بودجه را تشکیل می‌دهد و به بیانی دیگر نزدیک به ۱۰ درصد از سبد هزینه جاری بیمارستان‌ها صرف خرید حامل‌های انرژی می‌شود. بنابراین کوشش در مهار کردن انرژی برای آنها یک ضرورت است. در واقع هزینه انرژی قسمت قابل توجهی از هزینه‌های غیرپرسنلی در بیمارستان‌ها به خود اختصاص می‌دهد و به‌طور مستقیم بر قیمت تمام شده هر واحد خدمت تأثیر می‌گذارد (جباروند و همکاران، ۱۳۹۰: ۴۲).

با توجه به اهمیت مدیریت مصرف انرژی در بخش بیمارستان‌ها، این تحقیق بر آن است تا اجرای سه سناریوی کمینه‌سازی پیک انرژی، کمینه‌سازی هزینه انرژی و تلفیقی از این دو را

Archive of SID

www.SID.ir

در دستگاه‌های اصلی بیمارستان با توجه به ترجیحات مصرف‌کننده تحلیل کرده و در هر مرحله، یک الگوی بهینه مناسب برای دستگاه‌های بیمارستانی پیشنهاد دهد.

پیشینه پژوهش

در مقاله حاضر بر تعرفه‌های زمان استفاده به‌عنوان مشوق‌های مدیریت طرف تقاضا[1] تمرکز شده است. با وجود چنین تعرفه‌هایی، مصرف‌کنندگان طی ساعت‌های مختلف مبالغ متفاوتی را برای انرژی الکتریکی پرداخت می‌کنند. علاوه بر تعرفه‌های زمان استفاده می‌توان از طرح‌های تشویقی/ تنبیهی هم استفاده کرد که بنا بر آن، مصرف‌کننده در صورت استفاده بیش از حد مجاز در ساعات پیک مصرف در صورت‌حساب ماهانه خود مبلغی را به‌عنوان جریمه باید پرداخت کند. توجه به تعرفه‌های زمان استفاده تا آنجا مورد استقبال قرار گرفته است که وو و همکاران (۲۰۰۵) از الگوریتم شبکه‌های عصبی برای تغییر زمان بار در یک کارخانه پتروشیمی و نهریر و همکاران (۱۹۹۹) از منطق فازی برای تغییر زمان بار در حیطه یک سیلندر آب گرم استفاده کردند. بیشتر روش‌های استفاده شده رویکرد بهینه‌سازی داشتند. اولین ملاحظات مربوط به چگونگی رفتار سیستم مدیریت مصرف انرژی در محدوده خانه‌های مسکونی در اوایل دهه ۱۹۹۰ توسط وکس (۱۹۹۱) مطرح شد. تومپروس و همکاران (۲۰۰۹) یک طبقه‌بندی از بارهای خانگی ارائه و در ادامه یک معماری شبکه با امکان پیاده‌سازی عمومی از برنامه‌های کاربردی صرفه‌جویی انرژی برای محیط خانه را توصیف کردند. ژو و همکاران (۲۰۱۲) روش مدیریت طرف تقاضا با استفاده از روش برنامه‌ریزی عدد صحیح را پیشنهاد دادند. سازوکار پیشنهادی پیک ساعتی مصرف را به حداقل رسانده و به‌طور همزمان نیازمندی‌های هرکدام از وسایل خانگی را نیز تأمین می‌کند، اما درباره هزینه انرژی الکتریکی بحثی به میان نیامده است.

در این مقاله مسأله کمینه‌سازی هزینه انرژی الکتریکی نیز در نظر گرفته شده است و بر خلاف مدل ارائه شده توسط اونیل و همکاران (۲۰۱۰)، دارای یک مدل قطعی است. مسأله کمینه‌سازی هزینه انرژی الکتریکی مصرفی بر اساس تعرفه‌های زمان استفاده در ۲۴ ساعت شبانه‌روز حل می‌شود. روش پیشنهادی با در نظرگرفتن ترجیحات مصرف‌کننده در حالی که

1. Demand side management

Archive of SID

www.SID.ir

کلیه انتقال‌های ممکن برای تغییر زمان بارها به‌منظور بهره‌وری انرژی را در نظر می‌گیرد، به ارائه مدل می‌پردازد، اما امکان استفاده از این روش به‌صورت آنی[1] وجود ندارد و مصرف‌کننده باید فهرستی از بارهای بیمارستانی مورد استفاده در ۲۴ ساعت آینده را تهیه نماید.

روش پژوهش

در این تحقیق، بارهای بیمارستانی به سه دسته اصلی طبقه‌بندی شده‌اند: بارهای بیمارستانی قابل انتقال در زمان[2]، بارهای بیمارستانی با قابلیت جابجایی توان مصرفی[3] و بارهای غیرقابل جابجایی.[4] جدول ۱، فهرست پارامترها و جدول ۲، فهرست متغیرهای به کار رفته در مسأله برنامه‌ریزی را نشان می‌دهد.

جدول ۱. فهرست پارامترهای مدل

پارامترها	توضیحات
L	مجموعه بارهای بیمارستانی
H	مجموعه ۲۴ ساعت شبانه‌روز
DR_l	انرژی مورد نیاز برای بار l ام
H^s_l	ساعت شروع به کار بار l ام
h^e_l	ساعت اتمام کار بار l ام
p^*_l	مقدار توان مصرفی ثابت برای بارهای NCLs
$\underline{p}_l$	حداقل توان مصرفی برای بارهای PCLs
$\overline{p}_l$	حداکثر توان مصرفی برای بارهای PCLs
p^h_l	توان ثابت مصرفی بار l ام در ساعت h ام
P_l	بردار الگوی توان مصرفی برای بارهای TCLs
P^{total}_l	کلیه شیفت‌های بردار P_l
t^h	تعرفه ساعت h ام
T	بردارتعرفه‌های زمان استفاده

1. Real-time
2. Time Changeable Loads (TCLs)
3. Power Changeable Loads (PCLs)
4. Non Changeable Loads (NCLs)

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. فهرست متغیرهای مدل

متغیرها	توضیحات
PPC	پیک ساعتی توان مصرفی
c_l^h	توان مصرفی بار l ام در ساعت h ام
u_l^h	سوییچ کنترلی روشن و خاموش برای بار l ام در ساعت h ام
C_l	بردار توان مصرفی بار l ام در ۲۴ ساعت شبانه روز
U_l	بردار سوییچ کنترلی بار l ام در ۲۴ ساعت شبانه روز
c^h	مقدار کل توان مصرفی در ساعت h ام
C^h	بردار کل توان مصرفی در ساعت h ام شامل همه بارهای ساختمان

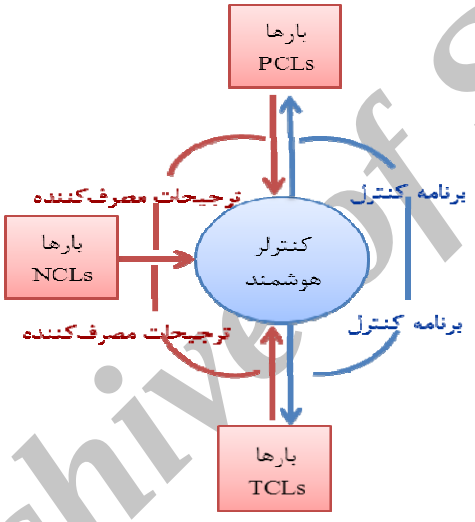
بارهای قابل جابجایی در زمان (TCLs) می‌توانند در مسأله تغییر زمان بارها شرکت کنند و برای مصرف‌کننده شاید یک بار کارکرد آنها در طول شبانه‌روز کفایت کند. در اصل کنترلگر هوشمند و حل مسأله، برنامه‌ریزی است که مشخص می‌کند با توجه به اهداف تعیین شده چه زمانی برای شروع به کار این بارها مناسب است؛ بارهایی نظیر MRI[1]، رادیولوژی و از جمله این بارها هستند. برای بارهایی با قابلیت جابجایی توان مصرفی (PCLs) مانند الکتروشوک[2] و بنت پرتابل[4] اندازه‌گیر هوشمند می‌تواند برنامه‌ای با قابلیت انعطاف در توان مصرفی برای آنها طراحی کند که نیاز مصرف انرژی روزانه آنها را تأمین کند. این نوع بارها معمولاً دارای یک نیاز انرژی روزانه ثابت برای انجام عملیات خود هستند و در زمره بارهای شارژی هستند. به‌عنوان مثال، یک نمونه الکتروشوک نیاز به شارژ شدن به اندازه ۳ کیلووات ساعت در طول روز دارد، در حالی که شارژر هوشمند آن می‌تواند در توانی بین ۰/۲ تا ۱ کیلووات توان مصرف کند، در این‌صورت این کنترلگر هوشمند است که با بهینه‌سازی مشخص می‌کند که آیا بهتر است با حداقل توان مصرفی در بازه زمانی بیشتر بار را شارژ کند یا با حداکثر توان مصرفی در بازه زمانی کوتاه بار را شارژ کند. این تصمیم‌گیری با حل مدل

1. Magnetic Resonance Imaging (MRI)
2. Sonography machine
3 Electroconvulsive machine
4 Portable Ventilator machine

Archive of SID

www.SID.ir

ریاضی و در نظر گرفتن اهدافی همچون کمینه‌سازی پیک توان یا کمینه‌سازی هزینه انرژی انجام می‌شود. برای بارهای غیرقابل جابه‌جایی (NCLs) مانند ونتیلاتور[1] و ساکشن[2] که مصرف توان و زمان عملکرد ثابتی دارند، مسأله بهینه‌سازی، تأمین انرژی مورد نیاز روزانه آنها را تضمین می‌کند. شکل ۱، دیاگرام سیستم مدیریت بارهای بیمارستانی را نشان می‌دهد. در این شکل، کنترلگر هوشمند با دریافت ترجیحات مصرف‌کننده ضمن حفظ رفاه مصرف‌کننده در استفاده از بارهای NCLs، برنامه کنترلی برای بارهای TCLs و PCLs را ارائه می‌دهد.



شکل ۱. دیاگرام سیستم مدیریت بارهای بیمارستانی

سازوکار برنامه‌ریزی مصرف می‌تواند به‌صورت یک مسأله برنامه‌ریزی خطی مطرح شود. در مرحله اول هدف نهایی را کمینه‌کردن پیک توان مصرفی در هر ساعت در نظر گرفته و مدل به شرح زیر است:

1. Ventilator machine
2. Suction machine

Archive of SID
www.SID.ir

$$\min_{PPC, c_l^h \in \mathrm{R}} \quad PPC \tag{۱}$$

$$\text{s.t} \quad \sum_{\mathrm{l}\in\mathrm{L}} c_l^h \le PPC, \quad \forall \mathrm{h} \in \mathrm{H}, \tag{۲}$$

$$1^{\mathrm{T}} C_l = \mathrm{DR}_1 \qquad \forall \mathrm{l} \in \mathrm{L}, \tag{۳}$$

$$c_l^h \ge 0 \tag{۴}$$

در این مدل $1 = [1,1,\ldots 1]^{\mathrm{T}}$ است. 1 شمارنده هر بار بیمارستانی است که از مجموعه بارهای بیمارستانی (L) انتخاب می‌شود. بردار $C_l = [c_l^1, c_l^2, \ldots, c_l^{24}]^{\mathrm{T}}$ برنامه توان مصرفی برای بار 1ام را نشان می‌دهد. c_l^h متغیر برنامه‌ریزی شده است که توان مصرفی برای بار 1ام را در زمان مشخص $\mathrm{h} \in \mathrm{H},\ \mathrm{H} = [1,2,\ldots,24]$ از شبانه‌روز مشخص می‌کند. متغیر PPC[1] پیک ساعتی مصرف توان برای بارها را نشان می‌دهد. تابع هزینه در نظر گرفته شده در مسأله بهینه‌سازی بالا، کمینه‌سازی با وجود محدودیت‌های (۲) الی (۴) است. پیک ساعتی مصرف باید از مجموع توان مصرفی برنامه‌ریزی شده برای همه بارها در آن ساعت بزرگ‌تر یا مساوی باشد. به همین علت محدودیت (۲) خود به‌تنهایی نماینده ۲۴ محدودیت است. برای هر بار بیمارستانی مطابق با جدول ترجیحات مصرف‌کننده نیاز مصرف انرژی روزانه[2] باید فراهم شود. میزان توان مصرفی بارها c_l^h باید یک عبارت غیرمنفی باشد؛ به این معنی که $c_l^h \ge 0$. در اینجا واحد تقسیم‌بندی زمان را هر یک ساعت در نظر گرفته‌ایم و بنابراین بردار C_l خود دارای ۲۴ درایه است. امکان افزایش تقسیم‌بندی زمانی در این مدل وجود دارد، اما نیازی برای آن نبود. اکنون که نیازمندی‌های بارهای بیمارستانی مدل شد، نیاز است ترجیحات مصرف‌کننده در قالب محدودیت‌هایی به مسأله بهینه‌سازی اضافه شود. برای بارهای متعلق به گروه NCLs (بارهای غیرقابل جابجایی) میزان مصرف آنها مقداری ثابت است (معمولاً در کاتالوگ این بارها مقدار مصرف آنها بر حسب کیلووات بر ساعت نوشته شده است). این مقدار ثابت با نماد $\mathrm{p}_{\mathrm{l}}^*$ نشان داده شده است. مصرف‌کننده مطابق جدولی که در اختیار ما قرار می‌دهد و ترجیحات خود را در آن نوشته، برای این بارها یک زمان شروع و یک زمان پایان عملیات مشخص کرده است؛ زمان شروع و پایان به ترتیب با $\mathrm{h}_{\mathrm{l}}^{\mathrm{s}}$ و $\mathrm{h}_{\mathrm{l}}^{\mathrm{e}}$ نمایش داده شده است. این محدودیت می‌تواند

1. Peak Power Consumption (PPC)
2. Demand Requirement (DR1)

Archive of SID

www.SID.ir

مطابق رابطه زیر نوشته شود:

$$c_l^h \geq p_l^*, \quad \forall l \in NCLs, \quad \forall h \in \left[h_l^s, h_l^{(s+1)}, \ldots, h_l^e\right] \qquad (۵)$$

برای بارهای متعلق به گروه PCLs یک رده توان مصرفی داریم که به ترتیب حداقل توان مصرفی (بار آماده به کار) و حداکثر توان مصرفی (بیشینه توان در حال کار) با نمادهای $\underline{p}_l$ و $\overline{p}_l$ مشخص شده است. حال با در نظر گرفتن ترجیح مصرف‌کننده برای زمان شروع و پایان کار بار می‌توان این محدودیت را به شکل زیر نوشت:

$$\underline{p}_l \leq c_l^h \leq \overline{p}_l, \ \forall l \in PCLs, \quad \forall h \in \left[h_l^s, h_l^{(s+1)}, \ldots, h_l^e\right] \qquad (۶)$$

بارهای متعلق به گروه TCLs را با میزان نیاز مصرف انرژی روزانه DR_l در نظر بگیریم اگر فقط بخواهیم به محدودیت (۳) بسنده کنیم، مسأله بهینه‌سازی تضمین می‌کند که انرژی روزانه مورد نیاز این بار در طول ۲۴ ساعت به اندازه DR_l تأمین می‌شود. برای مثال اگر MRI به اندازه ۲/۶ کیلووات‌ساعت برای انجام عملیات خود انرژی نیاز داشته باشد، محدودیت (۳) تأمین این مقدار انرژی را تضمین می‌کند. اما کل این انرژی می‌تواند توسط توزیع توان‌های مختلف تأمین شود، برای مثال بردار C_1 متعلق به MRI می‌تواند برای ۶ ساعت به اندازه ۰/۴۳ کیلووات توان مصرف کند و در باقی‌مانده زمان دارای توان مصرفی صفر باشد. این نتیجه می‌تواند یکی از نتایج به دست آمده از حل مدل باشد. واضح است که چنین تعبیری در مورد عملکرد MRI صحیح نیست، معمولاً در مشخصات بارهای TCLs، توان مصرفی در ساعت‌های کاری بار ذکر شده است. MRI مثال بالا برای ساعت اول کاری خود به اندازه ۱ کیلووات و برای ساعت دوم کاری خود به اندازه ۱/۶ کیلووات توان مصرف می‌کند و این دسته از بارهای بیمارستانی باید برای انجام عملیات خود از الگوی توان مصرفی خود تبعیت کنند. بنابراین وجود محدودیت (۳) به‌تنهایی برای عملکرد صحیح بارهای TCLs کافی نیست. اگر توان مصرفی در الگوی مصرف توان این بارها را در ساعت h ام برای بار l ام با نماد p_l^h نمایش داده شود با فرض اینکه یک بار دارای الگوی مصرف توان ثابت است، از بردار $\mathbf{P}_l = [p_l^1, p_l^2, \ldots, p_l^{24}]^T$ برای نمایش این الگو استفاده می‌شود. برنامه بردار C_1 دقیقاً باید مشابه با یکی از شیفت‌های بردار الگوی مصرف توان باشد. بنابراین کل شیفت‌هایی که برای بردار P_l موجود است به شرح زیر است و در قالب ماتریسی به نام P_l نشان داده شده است:

Archive of SID

$$\mathbf{P}_{\mathrm{l}}^{\mathrm{total}}=\begin{bmatrix} \mathrm{p}_{\mathrm{l}}^{1} & \mathrm{p}_{\mathrm{l}}^{2} & \cdots & \mathrm{p}_{\mathrm{l}}^{23} & \mathrm{p}_{\mathrm{l}}^{24} \\ \mathrm{p}_{\mathrm{l}}^{2} & \mathrm{p}_{\mathrm{l}}^{3} & \cdots & \mathrm{p}_{\mathrm{l}}^{24} & \mathrm{p}_{\mathrm{l}}^{1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \mathrm{p}_{\mathrm{l}}^{24} & \mathrm{p}_{\mathrm{l}}^{1} & \cdots & \mathrm{p}_{\mathrm{l}}^{22} & \mathrm{p}_{\mathrm{l}}^{23} \end{bmatrix} \qquad (۷)$$

محدودیتی که در بالا شرح داده شد به‌تنهایی نمی‌تواند در مسأله برنامه‌ریزی خطی شرکت کند. بنابراین از چارچوب برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای مدل کردن این محدودیت بهره گرفته می‌شود. برای ارائه برنامه مصرف توان برای بارهای TCLs نیازمند معرفی یک بردار از اعداد باینری هستیم. اگر بار lام در ساعت h ام روشن شود عبارت u_l^h معادل یک می‌شود و در غیر این صورت صفر است. مجموع کل این متغیرها در قالب بردار $\mathbf{U}_{\mathrm{l}}=[\mathrm{u}_{\mathrm{l}}^{1},\mathrm{u}_{\mathrm{l}}^{2},\ldots,\mathrm{u}_{\mathrm{l}}^{24}]^{\mathrm{T}}$ نشان داده شده است. این بردار به‌عنوان یک سوئیچ کنترلی برای بارهای TCLs عمل می‌کند، چراکه این بردار تنها یک عنصر غیرصفر دارد که برابر با ۱ است. این ویژگی در رابطه زیر نشان داده شده است:

$$1^{\mathrm{T}}U_l=1,\ U_l\in\{0,1\}^{24\times1} \qquad (۸)$$

اکنون می‌توان طرح برنامه توان مصرفی برای این بارها (C_l) را به شرح زیر نوشت:

$$C_l=\mathbf{P}_{\mathrm{l}}^{\mathrm{total}}U_l,\quad \forall \mathrm{l}\in\mathrm{TCLs} \qquad (۹)$$

از آنجایی‌که یکی دیگر از توابع هدفی که در این مقاله به آن پرداخته شده است، تابع هدف هزینه انرژی مصرفی است، نیاز است که قیمت انرژی الکتریکی را بر حسب کیلووات در ساعت‌های مختلف شبانه روز داشته باشیم در جدول ۳ فهرستی از تعرفه قیمت برق در طی ساعات مختلف شبانه‌روز ارائه شده است. برای به کار بردن این تعرفه‌ها در مدل مسأله از بردار $\mathbf{T}=[\mathrm{t}^{1},\mathrm{t}^{2},\ldots,\mathrm{t}^{24}]^{\mathrm{T}}$ استفاده شده است. برای مثال مطابق با جدول ۱، $\mathrm{t}^{3}=0.0363\ \$/\mathrm{kw}$ است و این یعنی در بازه زمانی بین ۲ تا ۳ صبح هرکیلووات معادل ۰/۰۳۶۳ دلار هزینه دارد.

برای نوشتن تابع هدف لازم است بردار $C^{\mathrm{h}}=[c^{1},c^{2},\ldots c^{24}]^{\mathrm{T}}$ (جمع مصرف توان کلیه بارها در هر ساعت) معرفی شود؛ هر کدام از درایه‌های این بردار از رابطه زیر به دست می‌آیند:

Archive of SID

www.SID.ir

$$c^{h} = \sum_{l=1}^{\text{number of loads}} c_l^{h} \quad \forall h \in H \qquad (۱۰)$$

تابع هدف کمینه‌سازی هزینه انرژی را می‌توان مطابق فرمول صفحه بعد در نظر گرفت:

$$\min_{c_l^h \in R} C^{h^T} \times T \qquad (۱۱)$$

جدول ۳. تعرفه قیمت انرژی الکتریکی (NYISO)

بازه زمانی استفاده (ساعت)	قیمت انرژی ($/Kw)	بازه زمانی استفاده (ساعت)	قیمت انرژی ($/Kw)
۰–۱	۰/۰۴۰۳	۱۲–۱۳	۰/۰۶۶۰
۱–۲	۰/۰۳۷۷	۱۳–۱۴	۰/۰۶۶۰
۲–۳	۰/۰۳۶۳	۱۴–۱۵	۰/۰۶۳۵
۳–۴	۰/۰۳۷۲	۱۵–۱۶	۰/۰۶۳۵
۴–۵	۰/۰۳۸۱	۱۶–۱۷	۰/۰۶۰۰
۵–۶	۰/۰۳۹۹	۱۷–۱۸	۰/۰۹۴۳
۶–۷	۰/۰۵۱۳	۱۸–۱۹	۰/۰۹۲۸
۷–۸	۰/۰۵۶۴	۱۹–۲۰	۰/۰۷۰۲
۸–۹	۰/۰۵۷۷	۲۰–۲۱	۰/۰۶۰۶
۹–۱۰	۰/۰۶۷۶	۲۱–۲۲	۰/۰۵۳۴
۱۰–۱۱	۰/۰۶۸۹	۲۲–۲۳	۰/۰۴۶۶
۱۱–۱۲	۰/۰۶۶۰	۲۳–۲۴	۰/۰۴۴۵

هر دوی این مسائل برنامه‌ریزی از درجه اهمیت مساوی برخوردارند، اما ممکن است در مواردی این درجه اهمیت مساوی نباشد. در این‌گونه موارد می‌توان با وارد کردن ضرایب وزنی در حل مسأله با ابزار برنامه‌ریزی آرمانی این تفاوت در اهمیت را دخیل کرد. در انتهای این بخش هر دو مسأله برنامه‌ریزی را با در نظر گرفتن محدودیت‌های (۲) تا (۱۰) به‌طور مجزا بازنویسی شده است:

Archive of SID

www.SID.ir

مسأله برنامه‌ریزی برای کمینه‌سازی پیک توان مصرفی:

$$\min_{PPC,c_l^h\in\mathrm{R}} \quad PPC \tag{۱۲}$$

$$\text{s.t} \quad \sum_{\mathrm{l}\in\mathrm{L}} c_l^h \le PPC, \quad \forall \mathrm{h}\in\mathrm{H}$$

$$1^{\mathrm{T}} C_l = \mathrm{DR_l} \qquad \forall \mathrm{l}\in\mathrm{L}$$

$$c_l^h \ge \mathrm{p_l^*}, \quad \forall \mathrm{l}\in\mathrm{NCLs}, \quad \forall \mathrm{h}\in\left[\mathrm{h_l^s}, \mathrm{h_l^{(s+1)}}, \ldots, \mathrm{h_l^e}\right]$$

$$\underline{\mathrm{p}}_\mathrm{l} \le c_l^h \le \overline{\mathrm{p}}_\mathrm{l}, \ \forall \mathrm{l}\in\mathrm{PCLs}, \quad \forall \mathrm{h}\in\left[\mathrm{h_l^s}, \mathrm{h_l^{(s+1)}}, \ldots, \mathrm{h_l^e}\right]$$

$$1^{\mathrm{T}} U_l = 1, \ U_l \in \{0,1\}^{24\times 1}$$

$$C_l = \mathbf{P}_\mathrm{l}^{\mathrm{total}} U_l, \qquad \forall \mathrm{l}\in\mathrm{TCLs}$$

$$c_l^h \ge 0$$

مسأله برنامه‌ریزی برای کمینه‌سازی هزینه انرژی الکتریکی مصرفی بر اساس تعرفه‌های زمان استفاده:

$$\min_{\mathrm{c_l^h}\in\mathrm{R}} C^{\mathrm{h^T}} \times \mathbf{T} \tag{۱۳}$$

$$C^{\mathrm{h}} = [c^1, c^2, \ldots c^{24}]^{\mathrm{T}}, \mathbf{T} = [\mathrm{t}^1, \mathrm{t}^2, \ldots, \mathrm{t}^{24}]^{\mathrm{T}}, c_l^h \ge 0$$

$$c^{\mathrm{h}} = \sum_{\mathrm{l}=1}^{\text{number of loads}} c_\mathrm{l}^{\mathrm{h}} \qquad \forall \mathrm{h}\in\mathrm{H}$$

$$\text{s.t} \quad \sum_{\mathrm{l}\in\mathrm{L}} c_l^h \le PPC, \quad \forall \mathrm{h}\in\mathrm{H}$$

$$1^{\mathrm{T}} C_l = \mathrm{DR_l} \qquad \forall \mathrm{l}\in\mathrm{L}$$

$$c_l^h \ge \mathrm{p_l^*}, \quad \forall \mathrm{l}\in\mathrm{NCLs}, \quad \forall \mathrm{h}\in\left[\mathrm{h_l^s}, \mathrm{h_l^{(s+1)}}, \ldots, \mathrm{h_l^e}\right]$$

$$\underline{\mathrm{p}}_\mathrm{l} \le c_l^h \le \overline{\mathrm{p}}_\mathrm{l}, \ \forall \mathrm{l}\in\mathrm{PCLs}, \quad \forall \mathrm{h}\in\left[\mathrm{h_l^s}, \mathrm{h_l^{(s+1)}}, \ldots, \mathrm{h_l^e}\right]$$

$$1^{\mathrm{T}} U_l = 1, \ U_l \in \{0,1\}^{24\times 1}$$

$$C_l = \mathbf{P}_\mathrm{l}^{\mathrm{total}} U_l, \qquad \forall \mathrm{l}\in\mathrm{TCLs}$$

$$c_l^h \ge 0$$

Archive of SID

www.SID.ir

برای اجرای مدل پیشنهادی، در مرحله اول مشخصات گروهی از بارهای بیمارستانی و نیازهای مصرف هر کدام از آنها در قالب جدولی از یک مصرف‌کننده داوطلب دریافت شده است. این فرد ترجیحات استفاده از بارهای بیمارستانی خود را به همراه مشخصات بارهای مورد استفاده (میزان انرژی الکتریکی مصرفی در هر ساعت) در اختیار قرار داده است. جدول ۴، فهرستی از مشخصات بارهای بیمارستانی را به همراه ترجیحات مصرف‌کننده در زمان استفاده از آنها را نشان می‌دهد. در این بخش کل نیاز به توان مصرفی و الگوی توان مصرفی هر کدام از بارها با در نظرگرفتن محدودیت‌های بخش قبل مدل شده است و مدل برنامه‌ریزی به دست آمده به وسیله نرم‌افزار GAMS[1] اجرا شده است.

جدول ۴. ترجیحات مصرف‌کننده و مشخصات بارها

شماره بار	بار بیمارستانی	انرژی مورد نیاز روزانه (kwh)	بازه زمانی عملکرد بار	مشخصات توان مصرفی بار (kwh)	نوع بار
۱	آنژیوگرافی	۱۳/۵	۸–۱۲/ ۱۴–۱۸	۱/۳۵	NCL
۲	ونتیلاتور	۵/۵۲	۲۴ ساعت	۰/۲۳	NCL
۳	ساکشن	۲/۴	۷ صبح و ۸ شب	۱/۲	NCL
۴	مانیتور	۱/۲	۲۱–۲۳	۰/۴	NCL
۵	الکتروشوک	۳	۷ شب تا ۸ صبح	حداقل ۰/۱، حداکثر ۱	PCL
۶	بنت پرتابل	۶	نیازش فراهم شود.	حداقل ۰/۱۲، حداکثر ۰/۸	PCL
۷	MRI	۲/۶	۲ ساعت	ساعت اول ۱، ساعت دوم ۱/۶	TCL
۸	رادیولوژی (X-Ray)	۲	۲ ساعت	هر ساعت ۱	TCL
۹	سونوگرافی	۱/۲۳	۷–۹ صبح/ ۶–۱۰ شب	۱/۲۳	TCL

رابطه (۲) و (۴) برای کلیه بارها نوشته شده است برای هرکدام از سه نوع بار موجود در جدول، مدل‌سازی یک بار به‌عنوان نمونه در اینجا آورده شده است.

1. General Algebraic Modeling System

Archive of SID
www.SID.ir

مدل‌سازی نمونه بارهای: NCLs بار شماره ۱ (آنژیوگرافی):

$$1^{\mathrm{T}} C_1 = \mathrm{DR}_1 \;\rightarrow\; c_1^1 + c_1^2 + \ldots + c_1^{24} = 13.5 \qquad (۱۴)$$

$$\mathrm{c}_1^{\mathrm{h}} \geq \mathrm{p}_1^*, \quad \forall \mathrm{h} \in \left[\mathrm{h}_1^{10}, \mathrm{h}_1^{11}, \ldots, \mathrm{h}_1^{19}\right] \rightarrow \begin{cases} c_1^8 \geq 1.35 \\ \vdots \\ c_1^{12} \geq 1.35 \\ c_1^{14} \geq 1.35 \\ \vdots \\ c_1^{18} \geq 1.35 \end{cases} \qquad (۱۵)$$

مدل‌سازی نمونه بارهای: PCLs بار شماره ۵ (الکتروشوک):

$$1^{\mathrm{T}} C_5 = \mathrm{DR}_5 \;\rightarrow\; c_5^1 + c_5^2 + \ldots + c_5^{24} = 3 \qquad (۱۶)$$

$$\underline{\mathrm{p}}_5 \leq c_5^{\mathrm{h}} \leq \overline{\mathrm{p}}_5, \forall \mathrm{h} \in \left[\mathrm{h}_5^{19}, \ldots, \mathrm{h}_5^{24}, \mathrm{h}_5^1, \ldots, \mathrm{h}_5^8\right] \rightarrow \qquad (۱۷)$$

$$\begin{cases} 0.1 \leq c_5^{19} \leq 1 \\ \vdots \\ 0.1 \leq c_5^{24} \leq 1 \\ 0.1 \leq c_5^1 \leq 1 \\ \vdots \\ 0.1 \leq c_5^8 \leq 1 \end{cases}$$

مدل‌سازی نمونه بارهای TCLs: بار شماره ۸ (رادیولوژی):

با توجه به جدول ۴ ماتریس شیفت را برای الگوی توان مصرفی بار تشکیل می‌دهیم و سپس محدودیت مربوط را می‌نویسیم:

Archive of SID

www.SID.ir

$$\text{tal} = \begin{bmatrix} p_8^1 & p_8^2 & \cdots & p_8^{23} & p_8^{24} \\ p_8^2 & p_8^3 & \cdots & p_8^{24} & p_8^1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ p_8^{24} & p_8^1 & \cdots & p_8^{22} & p_8^{23} \end{bmatrix} \rightarrow \mathbf{P}_8^{\text{total}} = \begin{bmatrix} 1.6 & 0 & 0 & \ldots & 0 & 1 \\ 1 & 1.6 & 0 & & \vdots & 0 \\ 0 & 1 & 1.6 & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & 1 & 1.6 \end{bmatrix} \quad (۱۸)$$

$$1^{\mathrm{T}} U_8 = 1,\ U_8 \in \{0,1\}^{24\times 1} \rightarrow u_8^1 + u_8^2 + \ldots + u_8^{24} = 1 \quad (۱۹)$$

$$C_8 = \mathbf{P}_8^{\text{total}} U_8 \rightarrow \begin{array}{l} c_8^1 = 1.6 \times u_8^{24} + 1 \times u_8^1 \\ c_8^2 = 1.6 \times u_8^1 + 1 \times u_8^2 \\ \vdots \\ c_8^{24} = 1.6 \times u_8^{23} + 1 \times u_8^{24} \end{array} \quad (۲۰)$$

کلیه محدودیت‌های مربوط به ۹ بار بیمارستانی، مشابه نمونه‌های آورده شده در این بخش مدل شده‌اند و با به کار بردن آنها در رابطه‌های مدل‌سازی (۱۲)، مسأله برنامه‌ریزی کمینه کردن پیک توان مصرفی و در رابطه‌های مدل‌سازی (۱۳)، مسأله برنامه‌ریزی کمینه‌کردن هزینه انرژی الکتریکی تشکیل شده‌اند. هر دوی این مسائل حل شده و نتایج آن مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند و سرانجام از طریق ابزار برنامه‌ریزی آرمانی، دو هدف به‌صورت توأمان در نظر گرفته شده و نتایج به دست آمده و با نتایج قبلی مقایسه شده است.

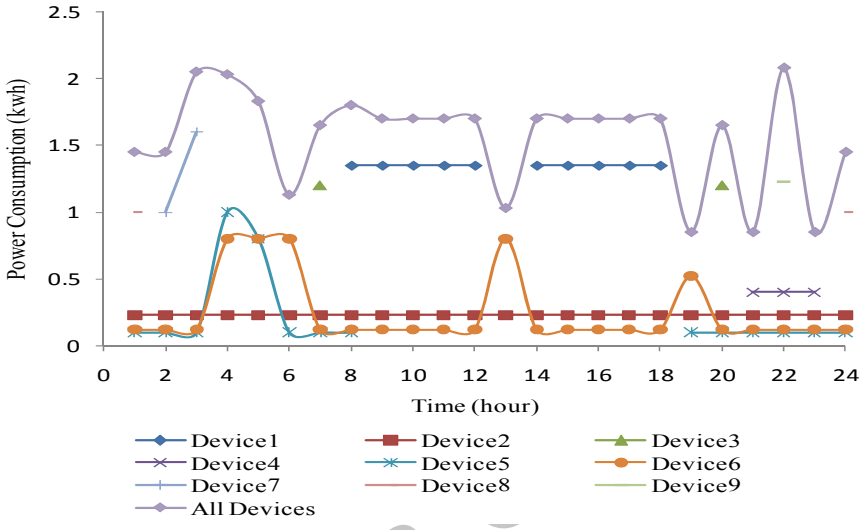
یافته‌های پژوهش

نمودارهای شکل ۲، توزیع توان مصرفی ۹ بار بیمارستانی در مطالعه موردی را برای سناریو اول ـ کمینه‌کردن پیک توان مصرفی تحت مدل‌سازی (۱۲) – نشان می‌دهد. با این توزیع توان مصرفی، بیشینه پیک توان مصرفی در بهینه‌ترین حالت خود در ساعت ۱۰ شب اتفاق می‌افتد و برابر با ۲/۰۸ کیلووات است. کمینه پیک توان مصرفی در ساعت ۹ شب اتفاق می‌افتد و برابر با ۰/۸۵ کیلووات است. این مسأله می‌تواند دارای جواب بهینه چندگانه باشد و توزیع مصارف

Archive of SID

www.SID.ir

توان دیگر نیز منجر به همین جواب شود، اما آنچه را که در این مطالعه موردی می‌توان تأکید کرد، این است که امکان کاهش پیک توان مصرفی از مقدار ۲/۰۸ کیلووات وجود ندارد.



شکل ۲. سناریوی اول، نمودارهای توزیع توان ۹ بار بیمارستانی

با استفاده از جدول ۱ و اعمال تعرفه‌های زمان استفاده هزینه پرداختی مصرف‌کننده در طول یک شبانه‌روز برابر است با:

$$\sum_{l=1}^{9} c^{h} \times t^{h} = 2.13 \quad \text{USD} \qquad (۲۱)$$

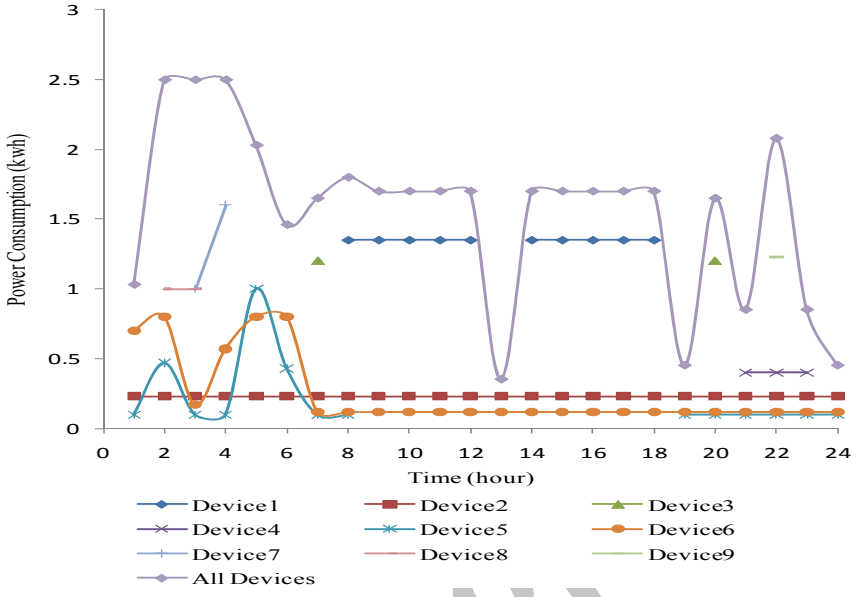
اگر فرض شود که مصرف‌کننده همین روند را برای روزهای دیگر استفاده کند هزینه ماهانه قابل پرداخت برای او برابر است با:

$$2.76 \times 30 = 63.78 \quad \text{USD} \qquad (۲۲)$$

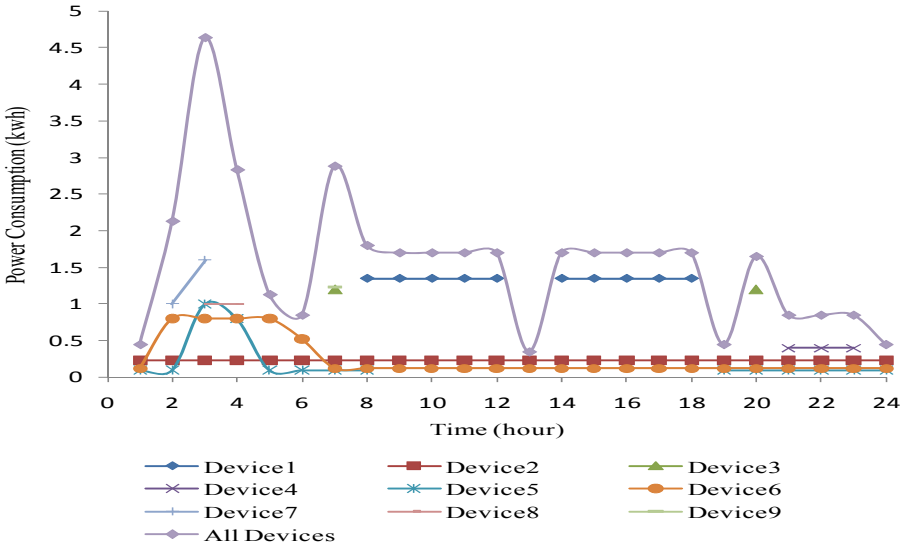
نمودارهای اشکال ۳ و ۴ توزیع توان مصرفی ۹ بار بیمارستانی در مطالعه موردی را برای سناریو دوم ـ کمینه‌کردن هزینه انرژی الکتریکی تحت مدل‌سازی (۱۳) – نشان می‌دهند. در شکل ۳ پیک توان مصرفی ۲/۵ کیلووات و در شکل ۴ و ۵ کیلووات در نظر گرفته شده است.

Archive

www.SID.ir



شکل ۳. سناریوی دوم، نمودارهای توزیع توان ۹ بار بیمارستانی با پیک ۲/۵ کیلوات



شکل ۴. سناریوی دوم، نمودارهای توزیع توان ۹ بار بیمارستانی با پیک ۵ کیلوات

www.SID.ir

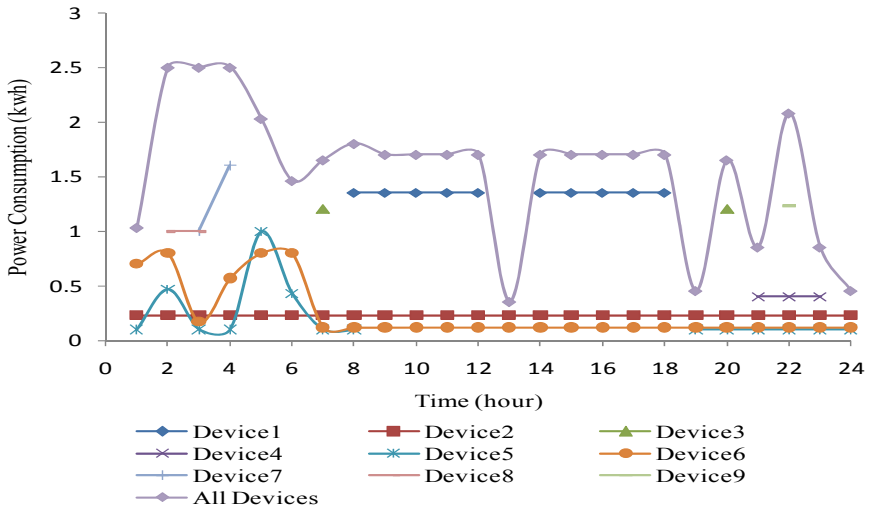
برای سناریوی دوم با پیک توان مصرفی برابر با ۲/۵ کیلووات، توان مصرفی کلیه بارها در کمینه مقدار و بیشینه مقدار خود به ترتیب برابر با ۰/۳۵ کیلوات در ساعت ۱ بعدازظهر و ۲/۵ کیلوات در ساعات ۳ و ۴ صبح است. قرار دادن حداکثر پیک توان مصرفی، موجب می‌شود بارها با توزیع مناسب و با توجه به تعرفه قیمت برق از مقدار ۲/۵ کیلووات ساعت تجاوز نکنند. نکته مهم در مورد اجرای سناریو با پیک توان مصرفی ۵ کیلووات، این است که توان مصرفی کلیه بارها در کمینه مقدار و بیشینه مقدار خود به ترتیب برابر با ۰/۳۵ کیلووات در ساعت ۱ بعدازظهر و ۴/۶۳ کیلووات در ساعت ۳ صبح است. بنابراین قراردادن حداکثر پیک توان مصرفی برابر با ۵ کیلووات برای این بارها تا حدی نامعقول و غیرمنطقی است، چراکه حل مدل، دیگر امکان جابجایی یا انتقال زمانی برای هیچ‌کدام از بارها را ندارد و با توجه به تعرفه‌های قیمت، قراردادن هر مقدار بیش از ۴/۶۳ کیلووات برای حداکثر پیک توان مصرفی به همین جواب منجر می‌شود. برای سناریوی دوم با پیک توان ۲/۵ کیلووات، هزینه ماهانه پرداختی برابر ۶۲/۳۱ دلار و برای سناریوی دوم با پیک توان ۵ کیلووات هزینه ماهانه پرداختی برابر ۶۲/۰۴ دلار است.

سناریوی دوم با دو مقدار مختلف از پیک توان مصرفی بررسی شد و در هر دو حالت نیز پیک توان مصرفی از کمترین مقدار ممکن پیک که در سناریوی یک برابر ۲/۰۷ کیلووات بود، بیشتر در نظر گرفته شد. بنابراین انتظار می‌رود که هزینه ماهانه انرژی مصرفی در سناریوی دوم برای هر دو مقدار پیک، از سناریوی یک کمتر باشد. با محاسبه‌ای ساده به این نتیجه می‌رسیم که اگر کمینه پیک توان مصرفی (۲/۰۸ کیلووات) را به اندازه ۰/۴۲ کیلووات افزایش داده شده و به ۲/۵ کیلووات برسد (به عبارتی با افزایش ۲۰ درصدی پیک توان مصرفی) می‌توان به اندازه ۲/۴ درصد در هزینه انرژی صرفه‌جویی کرد و از سویی این افزایش ناچیز پیک توان نمی‌تواند به بارهای بیمارستانی صدمه‌ای بزند یا موجب استهلاک آنها شود و علاوه بر آن فشار زیادی هم برای تأمین این مقدار توان برای بارها به تأمین‌کننده تحمیل نمی‌شود. اما اگر افزایش غیرمعقول کمینه پیک توان مصرفی برابر ۲/۹۲ کیلوات مد نظر قرار گیرد و به عبارتی، پیک توان برابر با ۵=۲/۹۲+۲/۰۸ کیلووات در نظر گرفته شود، می‌توان از لحاظ هزینه‌ای، ۲/۸۲ درصد نسبت به سناریوی اول صرفه‌جویی کرد. افزایش ۱۴۰ درصدی پیک فقط برای رسیدن به صرفه‌جویی در هزینه‌ها به اندازه ۰/۴۷ درصد بیشتر از حالت قبل توجیه‌پذیر نیست.

Archive of SID

www.SID.ir

نمودارهای شکل ۵ توزیع توان مصرفی ۹ بار بیمارستانی در مطالعه موردی را برای سناریو سوم ـ در نظر گرفتن توأمان کمینه‌سازی پیک توان و کمینه‌سازی هزینه انرژی با استفاده از ابزار برنامه‌ریزی آرمانی- نشان می‌دهد.



شکل ۵. سناریوی سوم، نمودارهای توزیع توان ۹ بار بیمارستانی (تلفیق سناریوهای اول و دوم)

در سناریوی سوم پیک توان مصرفی در بازه زمانی ۳ تا ۶ صبح برابر با مقدار ۲/۱ کیلووات است و برخلاف سناریوی ۱ این پیک مصرف فقط محدود به یک ساعت خاص نیست و به عبارتی، یکنواخت‌سازی مصرف توان در طول شبانه‌روز انجام شده و این امر از اضافه‌بار زیاد می‌کاهد. علاوه براین، مدل برنامه‌ریزی، پیک توان مصرفی را در ساعات با تعرفه‌های قیمت پایین قرار داده است که علاوه بر تأمین نیاز بار و ترجیحات مصرف‌کننده، صرفه‌جویی اقتصادی را هم در بر دارد. در این سناریو نیز میزان کمینه و بیشینه توان مصرفی به ترتیب برابر با ۰/۳۵ کیلووات و ۲/۱ کیلووات است. بنابراین نقاط قوت سناریوهای اول و دوم در نظر گرفته شده است. برای سناریوی سوم هزینه ماهانه پرداختی برابر با ۶۲/۴۲ دلار است و مصرف‌کننده ضمن پرداخت این هزینه از کمینه پیک توان مصرفی هم بهره می‌برد.

Archive
www.SID.ir

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

سناریوی دوم در حالت پیک توان مصرفی برابر ۲/۵ کیلووات با هزینه ماهانه ۶۲/۳۱ دلار، با صرفه‌جویی ۲/۳۵ درصدی نسبت به سناریوی یک همراه بود، سناریوی سوم، هدف مطرح شده در سناریوی یک را برآورده می‌کند. علاوه بر این، با لحاظ‌کردن تعرفه‌های زمان استفاده، با هزینه ماهانه ۶۲/۴۲ دلار تقریباً مشابه با سناریوی دوم در حالت پیک توان مصرفی ۲/۵ کیلووات عمل می‌کند. به عبارتی در سناریوی یک با تغییر کوچکی بدون آنکه درصدی به پیک توان مصرفی اضافه شود، می‌توان با استفاده از ابزار برنامه‌ریزی آرمانی ۲/۳۵٪ در هزینه پرداختی صرفه جویی کرد و یکنواخت‌سازی مصرف توان در طول شبانه‌روز نیز انجام می‌شود. در تمامی این سناریوها آنچه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، در اولویت قرارگرفتن ترجیحات مصرف‌کننده است. با افزایش تعداد بارها، صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در هزینه‌ها پدید می‌آید و به‌طور همزمان پیک مصرف کاهش یافته و لطمه‌ای هم به ترجیحات مصرف‌کننده وارد نمی‌شود. اگر در کشور ایران، تعرفه‌های برق از یکنواختی خارج شود و بر اساس یک کار آماری و کارشناسی شده به‌طور ساعتی سازماندهی شود، با اعمال برنامه‌های تشویقی/تنبیهی مشابه آنچه در این مقاله گفته شد، توزیع‌کننده انرژی از اثرات مطلوب پیک‌سایی بهره‌مند می‌شود و نیز با بهینه شدن مصرف انرژی هزینه‌های انرژی کاهش می‌یابد.

برنامه‌ریزی بارهای کنترلگر هوشمند از طریق الگوریتم به کار رفته در این پژوهش برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود. این الگوریتم می‌تواند برای بهبود سیستم‌های کنترلی توسعه یابد و برای چندین ساختمان هوشمند در کنار هم امکان ارائه یک مدل کلی‌تر با هدف بهینه‌سازی مصرف انرژی در کل ساختمان وجود دارد. مدل‌های ارائه شده در این پژوهش می‌تواند به‌عنوان یک برنامه جامع توسط میکروکنترلگرهای موجود در این بارها ارائه و منجر به مدیریت مصرف انرژی در ساختمان‌های هوشمند شود.

Archive of SID

www.SID.ir

فهرست منابع

منابع فارسی

جباروند، محمد، هادی مخترع، ریحانه شریفی، میلاد شفیعی و زهرا نگهبان (۱۳۹۰). «بررسی مقایسه‌ای وضعیت مصرف انرژی و مدیریت آن در بیمارستان فوق تخصصی چشم فارابی تهران»، مجله علمی ابن‌سینا، سال چهاردهم، شماره ۳: ۴۸-۴۱.

ریاحی، لیلا، کامران حاجی‌نبی و وحید آقامحمدی(۱۳۸۹). «ارتباط شاخص‌های تخت بیمارستانی با میزان مصرف انرژی الکتریکی (برق) در بیمارستان‌های دانشگاه علوم پزشکی همدان»، مدیریت بهداشت و درمان، سال دوازدهم، شماره ۲: ۶۶-۵۹.

منابع لاتین

Albadi, MH., El-Saadany, EF. (2007). Demand Response In Electricity Markets: An Overview, In: IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meeting.

Li, F., Qiao, W., Sun, H., Wan, H., Wang, J., Xia, Y., Xu, Z., Zhang, P. (2010)."Smart Transmission Grid: Vision and Framework", IEEE Transactions on Smart Grid, 1 (2): 168-77.

Lui, TJ., Stirling, W., Marcy, HO. (2010)."Get smart", IEEE Power Energy Mag, 8: 66-78.

Mohsenian-Rad, C. A., Wong, V., Jatskevich, J., Schober, R., LeonGarcia, A. (2010). "Autonomous Demand-side Management Based on Game Theoretic Energy Consumption Scheduling for the Future Smart Grid", IEEE transactions on Smart Grid, 1 (3): 320-331.

Nehrir, MH., LaMeres, B. J., Gerez, V. (1999)."A Customer-interactive Electric Water Heater Demand-side Management Strategy Using Fuzzy Logic", IEEE Power Engineering Society, 433-436.

ONeill, D., Levorato, M., Goldsmith, A , Mitra, U. (2010). "Residential Demand Response Using Reinforcement Learning", In: IEEE Smart Grid Communications.

Pyrko, J. (2006). "Load Demand Pricing-case Studies in Residential Buildings", International Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting Conference.

Tompros, S., Mouratidis, N., Draaijer, M., Foglar, A., Hrasnica, H. (2009)."Enabling Applicability of Energy Saving Applications on the Appliances of the Home Environment", IEEE Network, 23: 8-16.

Wacks, K. (1991). "Utility Load Management Using Home Automation", IEEE Trans Consumer Electron, 37: 168-74.

Wu, TY., Shieh, SS., Jang, SS., Liu, CCL. (2005). "Optimal Energy Management Integration for a Petrochemical Plant Under Considerations of Uncertain Power Supplies", IEEE Trans Power Systems, 20: 1431-9.

Zhu, Z., Tang, J., Lambotharan, S., Chin, WH., Fan, Z. (2012). An Integer Linear Programming Based Optimization for Home Demand-side Management in Smart Grids. In: IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies.

Archive of SID

www.SID.ir