

بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان های هوشمند با قابلیت داد و ستد انرژی

محمد مظفری نارگ موسی^{۱*}، جواد پور خسروانی^۲.

۱- دانشجوی مهندسی تکنولوژی برق قدرت، دانشکده فنی شهید چمران کرمان

۲- مدرس دانشکده فنی شهید چمران کرمان و کارشناس مسئول فنی شرکت مدیریت تولید برق کرمان

خلاصه

در پی رشد بی رویه جمعیت و به موازات آن مصرف بیش از حد منابع تجدید ناپذیر و مصرف سوخت های فسیلی، تخریب محیط زیست و عدم مدیریت صحیح در برنامه ریزی و تأمین نیاز نسل های آینده به یک پدیده نگران کننده برای دولت ها و برنامه ریزان اقتصادی بدل شده است و این روند تنها یک چالش اقتصادی در عصر حاضر نیست و با توجه به محدودیت منابع انرژی تجدید ناپذیر در دنیا به یک مسئله ی پیچیده استراتژیک تبدیل شده است. امروزه مهندسان و طراحان توانسته اند با به کار گیری علوم مختلف مهندسی و فناوری اطلاعات جلوه های ویژه ای از زیبایی و فناوری را در خانه هایی موسوم به خانه های هوشمند (Smart Home) یا خانه سبز (Green House) به نمایش در آورند. BMS (سیستم مدیریت هوشمند سازی ساختمان) بیانگر شبکه ای اتوماسیون و هوشمند می باشد که در یک ساختمان نصب شده به وسیله ی مجموعه ای از تجهیزات. کنترل گر مرکزی و رسانه های انتقال که شامل خطوط برق، تلفن، هوا و امواج رادیویی RF است. وظیفه ی مدیریت هوشمندانه، پایش و کنترل تجهیزات الکتریکی، حفاظتی، امنیتی و ... بر حسب اولویت زمان بندی شده بر عهده دارد. که با عناوین مختلف از جمله BEMS, BACS, BAS, Green House مطرح می شود با رویکرد بهینه سازی مصرف انرژی و نماد آسایش امنیت و رفاه می باشد.

کلمات کلیدی: بهینه سازی انرژی، مدیریت هوشمند، اتوماسیون خانگی، تعامل ساختمان های هوشمند، برنامه ریزی، بهره برداری

دانشجوی مهندسی تکنولوژی برق قدرت، دانشکده فنی شهید چمران کرمان

Email: www.mz2408frnz@gmail.com

مقدمه

مدیریت انرژی و ایجاد زیر ساخت ها جهت بهینه سازی مصرف انرژی عاملی برای مطرح شدن فناوری جدید به نام مدیریت هوشمند سازی ساختمان (BMS) در دهه ی ۱۹۷۰ میلادی از سوی جوامع غربی شد [۱ و ۳]. در عصر حاضر ساختمان ها نیز نوعی از فناوری هستند که مطابق با دانش روز سوار بر قطار افسار گسیخته ای که نمودار مشخصه آن بر مبنای صنعت و زمان بنا نهاده شده در حال طی مسیر می باشند. توسعه و نفوذ کامپیوتر و فناوری اطلاعات و ارتباطات، هوش مصنوعی، دانش الکترونیک، الکترو مکانیک و سرمایه گذاری های کلان در بخش تولید مدارات مجتمع الکترونیکی، و ساخت و تکامل پردازنده های هم چون میکرو کنترلر ها و Fpga موجب تحقق دانش مدیریت هوشمند سازی ساختمان BMS در عصر حاضر شدند [۵]. به دلیل گسترش نفوذ BMS در عرصه ی ساخت و ساز و برخورداری از محبوبیت در بین ساکنان و کاربران خانه هوشمند و وجود امنیت، آسایش، رفاه، کنترل و بهینه سازی مصرف انرژی و ایجاد راه کار هایی جهت فروش و تولید ساختمان های مدرن تر هم واره مورد توجه معماران و مهندسان در بخش ساختمان و شهر سازی قرار گرفته است [۴]. انقلاب منطق فازی در تولید تجهیزات الکترونیکی و دیجیتالی موجب تحولی شگرف و توانایی عظیمی برای دسترسی طراحان و مهندسان به ویژه برنامه نویسان مرتبط با صنعت هوشمند سازی ساختمان شده است. تا هر چه دقیق تر به تعریف دستور ها و فرآیندهای کنترلی و هوشمند سازی اقدام نمایند. (BMS) یا سیستم هوشمند مدیریت ساختمان با استفاده از آخرین فناوری ها در پی ایجاد شرایطی ایده آل برای زندگی همراه با مصرف بهینه انرژی در ساختمان ها است.

۱-۱. دسته بندی بارهای خانگی در ساختمان های هوشمند.

در برنامه ریزی بار های خانگی، بارهای موجود در خانه هوشمند را می توان از نظر توانایی شرکت در برنامه های مدیریت انرژی به دو دسته تقسیم بندی نمود. بارهای قابل انتقال که زمان استفاده از آنها را می توان به ساعاتی دیگر منتقل کرد و بار هایی که قابل انتقال نیستند. از طرفی بار های قابل انتقال خود به دو دسته وقفه پذیر و وقفه ناپذیر تقسیم می شوند. اگر به یک بار در حین اجرا بتوان وقفه داد و ادامه آن را به زمان دیگری موکول کرد، آن بار وقفه پذیر بوده و در غیر این صورت بار وقفه ناپذیر است [۱۶].

۱-۲. بار های غیر قابل انتقال.

منظور از بار های غیر قابل انتقال آن دسته از وسایل مشترکین می باشد که در زود ترین زمان شروع در خواست شده توسط کاربر باید توان مورد نیاز آنها تأمین گردد و امکان انتقال زمان استفاده از آنها به ساعات دیگر امکان پذیر نمی باشد. لذا از آنجا که کنترلی بر روی بار های غیر قابل انتقال وجود ندارد و هر لحظه تابع دستورات کاربر بوده و در بازه های مشخصی توسط مشترکین به صورت تصادفی مورد استفاده قرار می گیرند، از این رو برای مدل کردن آن ها فرض می کنیم هر یک از آن ها در صورت روشن شدن در ساعت ۲۰ باید به طور پیوسته تا ساعت ۲۴ مورد استفاده قرار گیرد سپس خاموش شود. هم چنین هیچ یک از برنامه های مذکور زود تر از زود ترین زمان شروع و دیر تر از دیر ترین زمان پایان آن ها مورد استفاده قرار نمی گیرند.

۳-۱. بار های قابل انتقال وقفه نا پذیر.

بار های قابل انتقال وقفه نا پذیر آن دسته از وسایل مشترکین را شامل می شود که زمان استفاده از این وسایل را می توان به زمان دیگری موکول نمود (قابلیت انتقال بار) اما در صورت روشن شدن وسیله مورد نیاز آن باید تا پایان دوره عمل کرد آن بطور پیوسته تأمین گردد (خاصیت وقفه نا پذیری بار). زمان شروع هر وسیله نمی تواند زود تر از زود ترین زمان شروع داده شده باشد [۱۴].

(۱)

$$\sum_{T \geq S_{h,k}}^{E_{h,k}} T S_{b,h,k,t} = 1 \quad \forall b,h,k$$

زمان پایان هر وسیله نمی تواند دیرتر از دیر ترین زمان پایان داده شده باشد،

(۲)

$$\sum_{t \geq S_{h,k}}^{E_{h,k}} T e_{b,h,k,t} = 1 \quad \forall b,h,k$$

اگر یک وسیله در بازه ی t به علاوه زمان عمل کرد آن (Dh,k)

خاتمه یابد،

(۳)

$$T s_{b,k,t} = T e_{b,h,k,t} + D h,k \quad \forall b,h,k, S h,k \leq t \leq T - D h,k + 1$$

تمام وسایل باید به طور پیوسته از زمان شروع تا زمان پایان کار کنند،

(۴)

$$W b_{,h,k,t} = W b_{,h,k,t-1} + T s_{b,h,k,t} - T e_{b,h,k,t} \quad \forall b,h,k, 1 \leq t \leq T$$

۴-۱. بار های قابل انتقال وقفه پذیر

بار های قابل انتقال وقفه پذیر آن دسته از وسایل مشترکین را شامل می شود که ضمن داشتن قابلیت انتقال بار، در صورت روشن شدن وسیله می توان در تأمین مورد نیاز آن وقفه ایجاد کرده و ما بقی توان مورد نیاز آن را در ساعات دیگر تأمین نمود (خاصیت وقفه پذیری بار). قید (۵) تضمین می کند که وسیله مورد نظر به تعداد بازه های مورد نیاز کاربر استفاده شده است. قید (۶) از استفاده وسیله مورد نظر در بازه های خارج از زودترین زمان شروع (در متن) و دیرترین زمان پایان (در متن) جلوگیری کند.

(۵)

$$\sum_t W b_{,h,k,t} = D h,k \quad \forall b,h,k,$$

(۶)

$t < s, h, k$

$$\sum_{t > E, h, k} W b, h, k, t = 0 \quad \forall b, h, k,$$

۲- مطالعه موردی.

برای ارزیابی مدل پیشنهادی دو ساختمان هوشمند در نظر گرفته شده است که یکی از ساختمان ها دارای ۳۰ واحد مسکونی (ساختمان ۱) و دیگری دارای ۹۰ واحد مسکونی (ساختمان ۲) است. هر یک از ساختمان های هوشمند منابع انرژی زیر را دارا می باشند:

یک ژنراتور CPH با ظرفیت ۶۰ KW در ساختمان ۱ با ظرفیت ۱۲۰ KWe در ساختمان ۲ که بازده الکتریکی آن ۳۵ درصد می باشد، نسبت تبدیل گرما به برق ۳ به ۱ و قیمت گاز طبیعی ۲/۷ P/KWH است. یک مزرعه بادی برای هر یک از ساختمان های یک و دو که در آن هر توربین بادی دارای ظرفیت ۱۰ KWe و هزینه ی نگهداری ۱۵ KWh/p است. یک واحد ذخیره ساز الکتریکی با ظرفیت ۶۰ kwhe در ساختمان ۱ و با ظرفیت ۳۰ kwhe در ساختمان ۲ که حداقل ۲۰ درصد از کل ظرفیت آن به دلایل فنی در ذخیره سازی باقی می ماند. بازده شارژ و دشارژ هر دو ذخیره ساز ۹۵ درصد، حداکثر نرخ شارژ و دشارژ به ترتیب برابر با ۶۰، ۳۰ kwe می باشد و هزینه نگهداری آن ۱۵ Kwh/p است. یک دیگ بخار با ظرفیت ۸۵ KWth و ۳۰۰ KWth به ترتیب در ساختمان ۱ و ۲ که بازده آن ۸۰ درصد می باشد. یک سیستم ذخیره سازی حرارتی با ظرفیت ۲۰ KWth در هر یک از ساختمان های ۱ و ۲ که بازده شارژ و دشارژ آن ۹۵ درصد می باشد و حد شارژ و دشارژ آن ۲۰ KWth و هزینه نگهداری آن ۱/kwhth است.

بازه های برنامه ریزی ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شده است و طول مدت برنامه ریزی ۲۴ ساعت آینده می باشد بنا بر این در کل ۴۸ بازه برنامه ریزی وجود دارد. زمان شروع برنامه ریزی ساعت ۸ صبح روز بعد می باشد. در برنامه ریزی بار های خانگی، تعداد ۱۲ بار اصلی برای هر خانه هوشمند در نظر گرفته شده است، که این وسایل به دو دسته ی غیر قابل انتقال و قابل انتقال تقسیم بندی شده اند. دسته بندی و مشخصات هر یک از بار های مذکور در جدول (۱) آورده شده است. همان طور که قبلاً نیز ذکر شد بار های غیر قابل انتقال در برنامه ریزی کاهش مصرف عموماً شرکت پذیر نیستند اما داخل کردن داده های آن ها برای مدل سازی بهتر تأثیر گذار خواهد بود؛ لذا برای هر یک از ساختمان های مورد مطالعه پروفیل باری ناشی از بار های غیر قابل انتقال بر اساس زود ترین زمان شروع، دیرترین زمان پایان، مدت زمان عمل کرد هر وسیله و تعداد دفعات استفاده از آن ها، به صورت تصادفی و با در نظر گرفتن موارد ذکر شده در بخش ۲-۱ ایجاد شده است (شکل ۱)، پروفیل گرمای مصرفی برای ساختمان ۱ همان پروفیل فرض شده در مرجع [۱۸] است و برای ساختمان ۲ نیز فرض شده است ۳ برابر ساختمان ۱ باشد. پروفیل گرمای مصرفی ساختمان ها تا انتهای شبیه سازی ها ثابت در نظر گرفته می شوند.

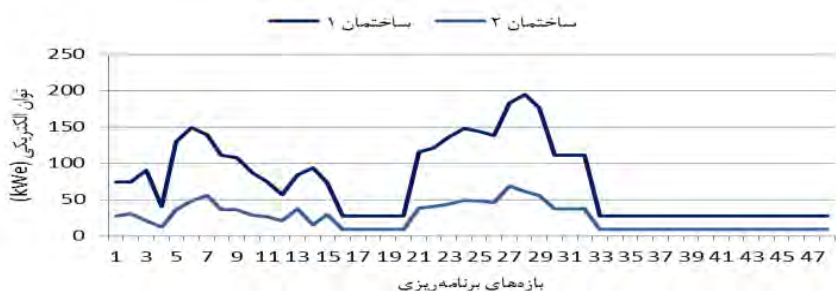
در این مطالعه مزرعه بادی شامل ۲۰ توربین بادی مجزا با بازده ۴۷ درصد برای هر ساختمان است. قطر پره ها ۱/۶ m و سرعت باد مطابق شکل (۲) فرض شده است [۱۹] و V_{cut-in} و $V_{cut-out}$ باد به ترتیب ۵ و ۲۵ m/s می باشد و سرعت نامی باد ۱۲ m/s است. به ازای سرعت باد کمتر از ۵ m/s و بیشتر از ۲۵ m/s توان تولیدی توربین صفر و به ازای سرعت باد بین ۱۲ تا ۲۵ m/s ثابت و برابر با توان خروجی در سرعت نامی باد می باشد. در سرعت هایی بین ۵ تا ۱۲ m/s خروجی توربین بادی بر اساس رابطه:

$$(21)$$

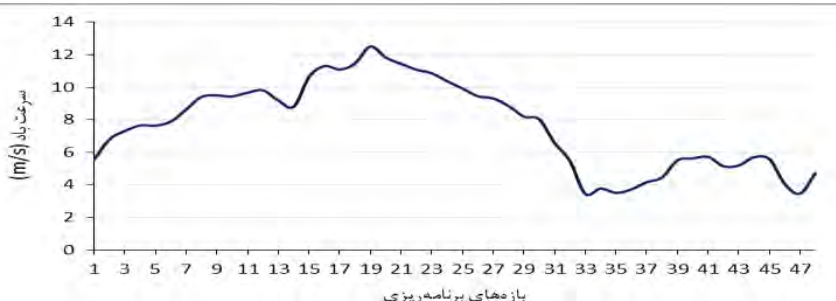
$$w_i = \frac{1}{2} \rho A \mu_w V_f^3 \quad \forall t$$

تغییر می کند. برنامه بهینه سازی باید زمان دقیق عملکرد یا به عبارت دیگر وضعیت روشن و خاموش بودن وسایل در هر بازه ای را برای هر وسیله قابل انتقال بر اساس تعرفه های اعلام شده تعیین نماید. تعرفه ها به صورت زمان واقعی طبق آن چه در شکل (۳) داده شده است به مشتری اعلام می شود [۱۵]. قیمت فروش برق به شبکه ثابت و برابر با ۳ p/kWh در نظر گرفته شده است.

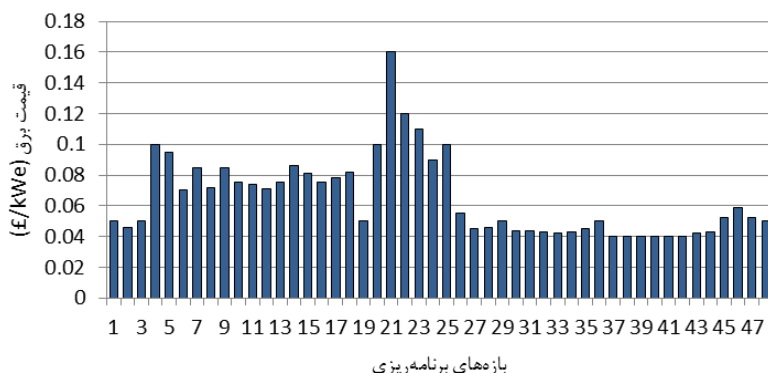
(شکل ۱). پروفیل بار ناشی از بار های غیر قابل انتقال:



(شکل ۲). سرعت وزش باد [۱۹]:



(شکل ۳). تعرفه ی برق:



۲-۱. شبیه سازی:

مسائل بهینه سازی توسط CPLEX 11.2.1 تحت GAMS و توسط مدل MILP حل می شوند. در ادامه جهت ارزیابی مدل پیشنهادی ۳ سناریوی مختلف برای هر ساختمان بررسی می شود.

۲-۲. سناریو یک. عدم برنامه ریزی بار های قابل انتقال و عدم فروش

برق.

در این سناریو جهت مقایسه، به یک نمونه از الگوی مصرف بدون برنامه ریزی اشاره می شود لذا فرض می گردد تمام وسایل قابل انتقال در زود ترین زمان شروع خود آغاز می شوند و ساختمان ها نمی توانند برق مازاد خود را به شبکه و یا ساختمان های دیگر بفروشند. تعادل توان الکتریکی به دست آمده در این سناریو برای ساختمان های ۱ و ۲ به ترتیب در شکل های (۴) و (۵) آورده شده اند. همانطور که مشاهده می شود اوج مصرف در ساعات اولیه شب که اوج بار شبکه نیز می باشد اتفاق افتاده است که این امر به دلیل عدم برنامه ریزی بهینه وسایل قابل انتقال می باشد. تعادل توان حرارتی نیز برای ساختمان های ۱ و ۲ به ترتیب در نمودار های (۶) و (۷) نمایش داده شده است. شکل های (۸) و (۹) سطح انرژی موجود در ذخیره سازها را به ترتیب برای ساختمان های ۱ و ۲ نشان می دهد. همان طور که می توان دید سطح شارژ هر دو ذخیره ساز در ابتدای برنامه ریزی حد اکثر می باشد. اوج بار منحنی در ساعات اوج بار شبکه به وسیله دشارژ ذخیره ساز ها کاهش می یابد که موجب جذب توان کمتری از شبکه در این ساعات می شود. هر دو ذخیره ساز در پایان دوره مطالعه به سطح شارژ اولیه خود در ابتدای برنامه ریزی رسیده اند. در این سناریو کل هزینه ساختمان ۱، ۱۲۵/۱ £ و برای ساختمان ۲، ۴۳۷/۲ £ است. میزان توان الکتریکی گرفته شده از شبکه توسط ساختمان ۱، ۴۵۷ KWe و توسط ساختمان ۲، ۳۱۵۸ KWe می باشد. ژنراتور CHP ۶۶ درصد از توان الکتریکی و ۴۲ درصد از توان حرارتی ساختمان ۱ را تأمین می کند. در ساختمان ۲ نیز ژنراتور CHP، به ترتیب ۴۹ درصد و ۳۲ درصد از توان الکتریکی و حرارتی را تأمین می کند.

۲-۳. سناریو ۲. مشارکت بار های قابل انتقال و فروش برق به شبکه.

در این سناریو فرض می شود بار های قابل انتقال نیز می توانند جهت کاهش اوج بار و نیز کاهش میزان برق گرفته شده از شبکه تا جایی که امکان دارد جا به جا شوند و در بهینه سازی مصرف برق ساختمان مشارکت داشته باشند. همچنین فرض می شود ساختمان های توان مازاد خود تنها به شبکه تحویل دهند. شکل های (۱۰) و (۱۱) تعادل توان الکتریکی را به ترتیب برای ساختمان های ۱ و ۲ نشان می دهد. در این سناریو کل هزینه تمام شده برای ساختمان ۱، ۱۱۴/۵ £ و برای ساختمان ۲، ۳۵۹/۸ £ می باشد. که نسبت به سناریو قبل کاهش یافته است. علاوه بر این اوج مصرف از ساعات اولیه

شب که قیمت برق نیز گران تر است به ساعات اولیه روز منتقل شده است که این امر موجب کاهش خرید توان از شبکه در ساعات اوج بار شبکه و صرفه جویی در هزینه مصرف انرژی شده است. ساختمان ۱ به میزان ۱۱ kwe از شبکه، توان خریداری می نماید که نسبت به سناریوی قبل کاهش چشم گیری داشته است. همچنین ۹۸۱ kwe از توان الکتریکی مصرف شده در ساختمان ۲ از شبکه دریافت می شود که نسبت به سناریوی قبل کاهش یافته است. تعادل توان حرارتی برای ساختمان ۱ و ۲ به ترتیب در شکل های (۱۲) و (۱۳) نشان داده شده است. ژنراتور CHP نیز ۹۲ درصد از توان الکتریکی و ۵۹ درصد از توان حرارتی ساختمان ۱ را تأمین می کند و در ساختمان ۲، ۸۳ درصد از توان الکتریکی و ۵۳/۶ از توان حرارتی به وسیله CHP تأمین شده است. شکل (۱۴) سطح شارژ ذخیره ساز الکتریکی ساختمان ۱ را نشان می دهد. همان طور که در شکل ملاحظه می گردد بر خلاف سناریوی قبل سطح شارژ اولیه ذخیره ساز ساختمان ۱ در ابتدای برنامه ریزی بسیار کم می باشد که به دلیل جابه جایی بارهای قابل انتقال از ساعات گران قیمت به ساعات با قیمت برق ارزان تر نیاز به استفاده از ذخیره ساز ها کاهش یافته است. سطح شارژ ذخیره ساز الکتریکی ساختمان ۲ نیز در شکل (۱۵) نشان داده شده است.

۴-۲. سناریو ۳. سناریو ۲ و تعامل میان ساختمان ها

در این سناریو علاوه بر مشارکت بار های قابل انتقال و داد و ستد انرژی با شبکه، تعامل میان ساختمان های هوشمند نیز در نظر گرفته شده است. این تعامل موجب می شود تا ساختمان ها بتوانند در صورت نیاز از ظرفیت مازاد شارژ موجود در ذخیره ساز های الکتریکی سایر ساختمان های دیگر استفاده کنند. قیمت فروش برق مبادله ای میان ساختمان ها ۶ P/KWhe فرض می شود. تابع هدف طبق رابطه ی:

(۳۱)

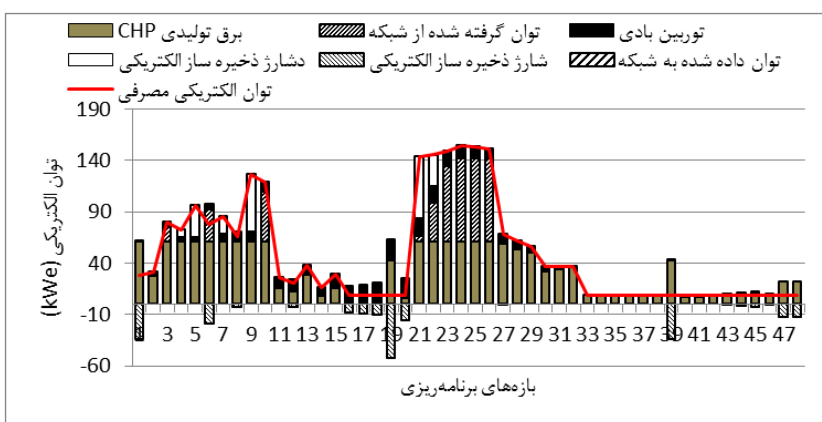
$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

باید به طور همزمان هزینه ساختمان ها را کمینه نماید. از آنجا که هیچ یک از ساختمان ها نسبت به دیگری ارجحیتی ندارد لذا ضرایب وزنی که به هر یک از دو ساختمان اختصاص داده شده است ۵ درصد خواهد بود. پروفیل بار و تعادل توان الکتریکی برای ساختمان های ۱ و ۲ به ترتیب در شکل های (۱۶) و (۱۷) نشان داده شده است. در این سناریو مشارکت میان ساختمان ها باعث شده است تا ساختمان ۲

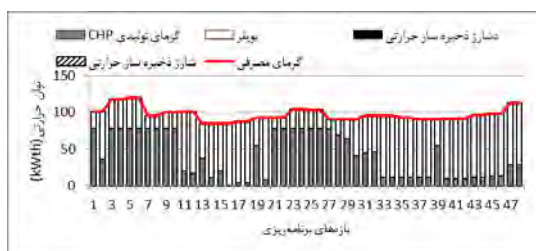
در برخی ساعات که قیمت برق از شبکه گران تر از قیمت برق فروخته شده توسط ساختمان ۱ است توان مورد نیاز خود را از طریق ساختمان ۱ تأمین نماید. به طوری که در این سناریو ساختمان ۲ در کل دوره مطالعه ۲۲۶/۷ kwe از توان الکتریکی مورد نیاز خود را از ساختمان ۱، و ۵۷۴ kwe را از شبکه و ما بقی را به وسیله منابع تولید انرژی خود تأمین نموده است. در مقایسه با سناریو قبل میزان توان دریافتی از شبکه توسط ساختمان ۲ باز هم کاهش یافته است. ساختمان ۱ نیز ۸ KWe از توان الکتریکی مورد نیاز خود را از شبکه و ما -بقی را از منابع تولید محلی خود دریافت نموده است. تعادل بهینه توان حرارتی ساختمان های ۱ و ۲ به ترتیب در شکل های (۱۸) و (۱۹) نشان داده شده اند. در این سناریو ژنراتور CHP، ۶۱/۴ درصد از توان حرارتی مورد نیاز ساختمان ۱ و ۵۳/۶ درصد از توان حرارتی مصرفی ساختمان ۲ را فراهم نموده است. شکل های (۲۰) و (۲۱) به ترتیب سطح شارژ ذخیره ساز الکتریکی ساختمان های ۱ و ۲ را نشان می دهند. همان طور که در شکل های مربوطه مشاهده می شود سطح شارژ اولیه در ابتدای برنامه ریزی برای هر دو ساختمان بیش ترین ظرفیت ذخیره ساز می باشد و در انتهای دوره مطالعه به سطح شارژ اولیه خود رسیده اند. با مقایسه شکل های (۱۷) و (۲۱) می توان دریافت که ساختمان ۲ در بازه هایی که ذخیره ساز آن خالی می باشد در صورت نیاز از ذخیره ساز ساختمان ۱ استفاده کند. در این سناریو مشارکت میان ساختمان ها موجب کاهش هزینه های هر دو ساختمان شده است.

به طوری که کل هزینه ساختمان ۱ (۱۰۹/۸ £) و نسبت به سناریو های ۲ و ۱ به ترتیب ۱۲/۲ درصد و ۴/۱ درصد کاهش یافته است. همچنین در هزینه ساختمان ۲ که ۳۵۴£ است نسبت به سناریوهای ۱ و ۲ به ترتیب ۱۹ درصد و ۱/۶ درصد صرفه جویی شده است. توان تولیدی توسط ژنراتور CHP در این سناریو برای ساختمان ۱ نسبت به سناریو های ۱ و ۲ به ترتیب به میزان ۳۰/۹ درصد و ۳/۷ درصد افزایش یافته است. برای ساختمان ۲ میزان توان تولیدی ژنراتور CHP از ۳۳۹۷/۷ در سناریو ۱ به ۵۷۴۹ KWe افزایش یافته است و نسبت به سناریو ۲ بدون تغییر مانده است. نتایج عددی سناریو های مورد بررسی جهت مقایسه برای ساختمان های ۱ و ۲ در جدول های ۲ و ۳ آورده شده است.

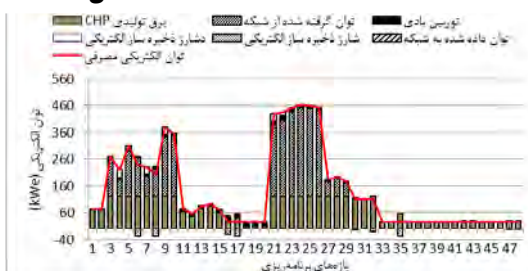
شکل (۴)



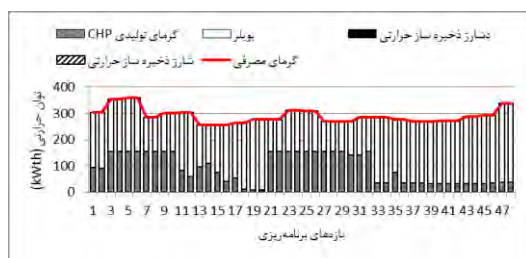
شکل (۶)



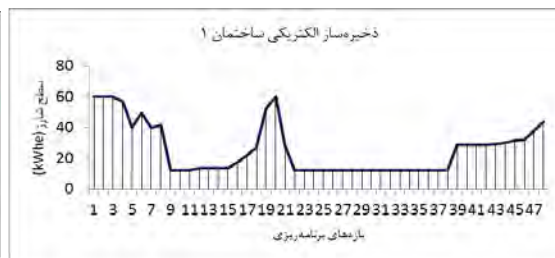
شکل (۵)



شکل (۸)

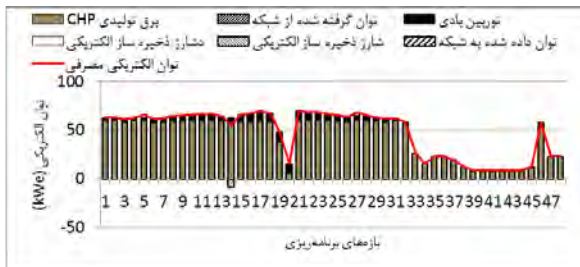


شکل (۷)





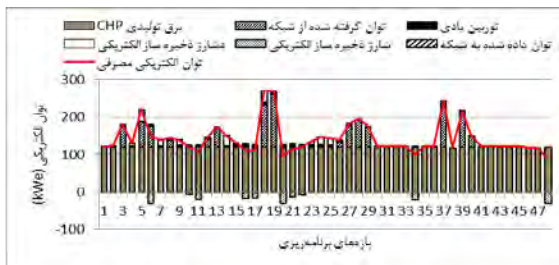
شکل (۱۰)



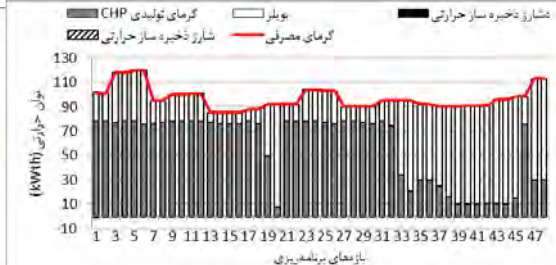
شکل (۹)



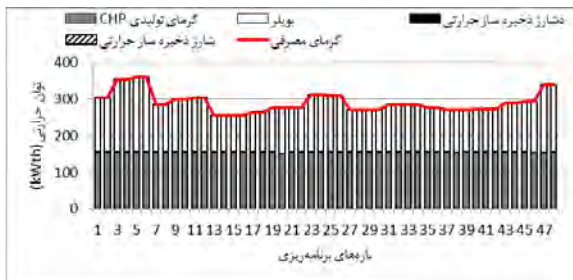
شکل (۱۲)



شکل (۱۱)



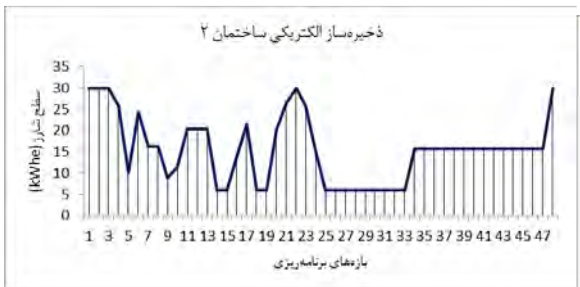
شکل (۱۴)



شکل (۱۳)



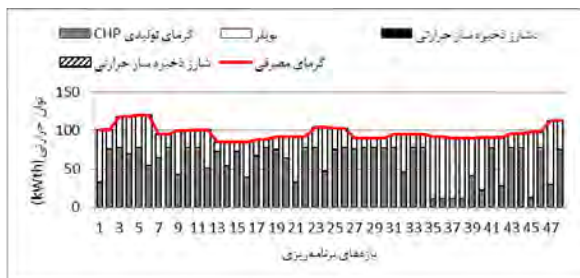
شکل (۱۶)



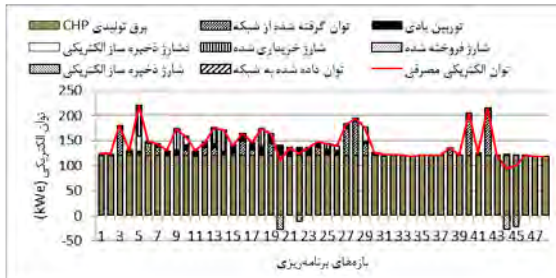
شکل (۱۵)



شکل (۱۸)



شکل (۱۷)



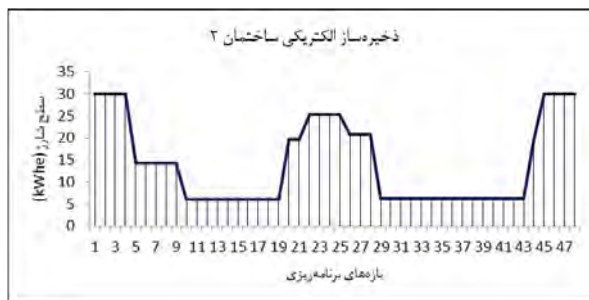
شکل (۲۰)



شکل (۱۹)



شکل (۲۱)



جدول (۱). مشخصات و دسته بندی وسایل خانگی [۱۶ و ۱۷]

نوع بار	مدت عملکرد (h)	زودترین زمان شروع و دیرترین زمان پایان	توان مصرفی KWe	بارمصرفی
غیر قابل انتقال	۲۴	[۰ و ۲۴]	۰.۳	یخچال
غیر قابل انتقال	۰.۵	[۱۰ و ۱۰] [۱۲ و ۱۴] و ۱۰	۱/۷	مایکرو ویو

		[۲۳ و ۲۱] [۱۶]		
تلویزیون	.۳	[۹ و ۱۵] [۱۸ و ۲۴]	۴	غیر قابل انتقال
لامپ رشته ای	.۸۴	[۱۸ و ۲۴]	۶	غیر قابل انتقال
لامپ مهتابی	.۱	[۱۰ و ۱۳]	۶	غیر قابل انتقال
جارو برقی	۱/۲	[۱۰ و ۱۵] [۱۹ و ۲۳]	.۱۵	غیر قابل انتقال
رایانه	.۳	[۱۰ و ۱۵] [۱۸ و ۲۱]	۳	غیر قابل انتقال
رایانه قابل حمل	.۱	[۹ و ۱۷]	۲	غیر قابل انتقال
لباس شویی	۱	[۹ و ۱۲]	۱/۵	قابل انتقال وقفه ناپذیر
ظرف شویی	۱	[۹ و ۱۷]	۳	قابل انتقال وقفه ناپذیر
لباس خشک کن	۳	[۱۲ و ۱۸]	۱	قابل انتقال وقفه ناپذیر
خودرو الکتریکی	۳/۵	[۸ و ۱۸]	۳	قابل انتقال وقفه ناپذیر

جدول (۲) نتایج عددی سناریو های مورد بررسی برای ساختمان هوشمند ۱.

توان خریداری شده از شبکه (kWe)	فروش توان به ساختمان دیگر (kWe)	خرید توان از ساختمان دیگر (kWe)	توان تولیدی CHP (kWe)	هزینه مصرف انرژی (£)	
.	.	۱۵۱۶/۲۳	۴۵۷	۱۲۵/۱	سناریو ۱
.	.	۲۱۱۲/۷۷	۱۱	۱۱۴/۵	سناریو ۲
۲۲۶/۷	.	۲۱۹۴/۳۴	۸/۴۸	۱۰۹/۸	سناریو ۳

جدول (۳) نتایج عددی سناریو های مورد بررسی برای ساختمان هوشمند ۲.

توان خریداری شده از شبکه (kWe)	فروش توان به ساختمان دیگر (kWe)	خرید توان از ساختمان دیگر (kWe)	توان تولیدی CHP (kWe)	هزینه مصرف انرژی (£)	
۳۱۵۸	.	.	۳۳۹۷/۹۲	۴۳۷/۲	سناریو ۱
۹۸۱	.	.	۵۷۴۸/۹۶	۳۵۹/۸	سناریو ۲
۵۳۷/۸۶	.	۲۲۶/۷	۵۷۴۸/۶۸	۳۵۴	سناریو ۳

اندیس ها	
B	تعداد ساختمان های هوشمند
H	تعداد خانه ها در هر ساختمان هوشمند
K	بارهای مصرفی در هر خانه
T	بازه زمانی
پارامتر	$kWhe \ t$ انرژی متخری برق شبکه در بازه t
Eh, k	دیر ترین زمان مجاز پایان بار k در خانه h
Sh, k	زود ترین زمان مجاز شروع بار k در خانه h

	زمان عملکرد بار k در خانه h	Dhk_k
	بازدهالکتریکی ژنراتور CHP	A
اگر بار k در در ساختمان b در خانه h در بازه t خاتمه یابد است در غیر اینصورت	Teb,h,k,t	متغیرهای باینری
اینصورت ۰ است	اگر بار k در ساختمان b در خانه h در بازه t آغاز شود ۱ در غیر	Tsb,h,k,t
	اگر بار k در ساختمان b در خانه h در بازه t در حال انجام باشد ۱ در غیر اینصورت ۰	wb,h,k,t
		متغیر مثبت
	برق تحویلی به شبکه توسط ساختمان b در بازه t (KWe)	Exb,t
	دشارژ ذخیره سازی حرارتی ساختمان b در بازه t (KWth)	fb,t
	شارژ ذخیره سازی حرارتی ساختمان b در بازه t (KWth)	gb,t
	خروجی ژنراتور CHP ساختمان b در بازه t KWth	wcb,t

قابلیت های فنی، رفاهی و امنیتی خانه هوشمند (BMS).

کنترل و پایش مداوم و مستمر (سیستم های روشنایی، اعلام سرقت و مقابله با آن، سیستم های اعلام و اطفای حریق، اعلام نشت گاز و سیستم های امنیتی و حفاظتی مانند دوربین های مدار بسته و ... سیستم های اعلام دما و رطوبت سنج، سیستم تماس گیرنده تلفنی، سیستم اعلام زلزله و ... می تواند باشد [۳ و ۱۷].

نحوه کنترل و دسترسی به امکانات و تجهیزات در خانه هوشمند.

کنترل به وسیله سیگنال ها و فرکانس های رادیویی یا RF، به صورت هوشمند (با برنامه ریزی های از پیش انجام شده به صورت خودکار و اتوماسیون) و کنترل از راه دور مانند پیامک، موبایل، شبکه، اینترنت، تبلت، و غیره [۱۱ و ۳ و ۴].

نحوه برگشت سرمایه و هزینه های ناشی از هوشمند سازی ساختمان.

سیستم هوشمند سازی ساختمان می تواند با بهینه سازی مصرف انرژی و استفاده بهینه از تجهیزات به دلیل عدم کارکرد مداوم و هزینه های ناشی از تعمیر و سرویس بی مورد تجهیزات، فرو رفتن تجهیزات در مد یا حالت خواب هنگام عدم استفاده و کارکرد لازم مانند پروتکل Zigbee جهت سیستم های هشدار و ضد سرقت و اعلام و اطفای حریق که برای مدت زمانی طولانی استفاده نمی شوند. مدیریت در استفاده از تجهیزات مکانیکی، الکتریکی و غیره و اولویت بندی هوشمندانه جهت روشن و خاموش شدن و زمان کارکرد تجهیزات در طول شبانه روز [۵ و ۷ و ۲].

پروتکل Zigbee .

پروتکتی است که در سال ۲۰۰۲ میلادی توسط گروه صنعتی اتحاد Zigbee بر مبنای شبکه های wireless وایرلس خصوصی جهت استفاده در اتوماسیون در بخش خانگی، صنعتی، اداری و تجاری معرفی شد [۳]. استاندارد IEEE802.15.4، فناوری و پروتکتی است برای تجهیزات بی سیم که از ماژول های فعال کننده با فرکانس های رادیویی ۹۱۵ مگا_ هرتز و ۲/۴ گیگا هرتز و از پروتکتل های گروه Zigbee پشتیبانی می کند و این به دلیل منعطف بودن بسیار زیاد آن است [۱۱]. و به صورت فناوری دو سوپه یا دو طرفه طراحی شده است. و دارای هزینه بسیار پایین جهت نصب و راه اندازی، صرفه جویی در مصرف برق، برد کوتاه و نرخ ارسال پایین اطلاعات است و دارای امنیت قابل قبولی است. و از توپولوژی یا سیم بندی هایی مانند شبکه بندی ترکیبی، ستاره، درخت خوشه و مش پشتیبانی می کند [۲ و ۳ و ۹].

استراتژی و راه کارهای سیستم مدیریت هوشمند.

خاموش و روشن کردن دستگاه ها بر اساس برنامه ریزی های انجام شده . اولویت بندی هوشمندانه برای استفاده و به کار گیری تجهیزات در زمان لازم. مدیریت هوشمندانه و نحوه مصرف انرژی در زمان پیک یا اوج بار. ارائه ی گزارش از نحوه عمل کرد تجهیزات و آموزش جهت بهره برداری بهینه از خانه های هوشمند. کارکرد تجهیزات در حالت بی باری با حداقل سطح ولتاژ و توان مصرفی ممکن [۲ و ۳ و ۷].

تأثیرات هوشمند سازی ساختمان (BMS) و نتایج ناشی از آن بر محیط زیست.

سیستم هوشمند سازی ساختمان با مصرف بهینه انرژی و کاهش مصرف سوخت های فسیلی تجدید ناپذیر هم واره هم سو و در جهت آرمانهای مسئولین محیط زیست و دولت ها حرکت کرده و یکی از دلایل طراحی فناوری BMS کاهش آلودگی محیط زیست عنوان شده است. که در این بین به Green House یا خانه های سبز نیز شهرت یافته است [۳ و ۱۳] که می تواند در کاهش گازهای گل خانه ای نیز سهیم باشد [۱۷].

دلایل عدم موفقیت و شکست پروژه های مدیریت هوشمند سازی ساختمان.

یک پروژه هوشمند سازی زمانی می تواند موفقیت آمیز باشد که هزینه _ی اجرای آن و تهیه تجهیزات نسبت به هزینه تهیه خود ساختمان سنجیده شود در صورتی که بر آورد هزینه معقول و سنجیده نباشد، بهینه سازی و صرفه جویی در انرژی نیز نمی تواند هزینه های صرف شده را جبران کند. در اجرای BMS باید مواردی مانند عدم انجام وظایف تعیین شده، پنهان کردن اطلاعات و عدم بروز مشکلات ناشی از اجرای پروژه، عدم اجرای فاکتور و مولفه های اثر گذار در پروژ و عدم واقعیت گرایی را مد نظر و مورد توجه قرار داد [۳ و ۷ و ۴].

کارهای انجام شده در زمینه سیستم مدیریت هوشمند سازی ساختمان.

از موارد اجرا شده در پروژه های هوشمند سازی ساختمان می توان به تهویه مطبوع، سیستم های اعلام و هشدار سرقت، سیستم های صوتی و تصویری، سیستم های حفاظتی و امنیتی، دوربین های مدار بسته، سیستم های اعلام و اطفای حریق، سیستم اعلام زلزله، سیستم اعلام نشت و اعلام مقدار گاز در هوا، سیستم های کنترل تردد، کنترل و پایش هوشمند الکترونیکی یاد کرد [۲ و ۵ و ۷]. این تجهیزات می توانند نسبت به توان مصرفی و ولتاژ کاری در بهینه سازی مصرف انرژی موثر باشند هم چنین استفاده از پروتکتل مناسب در رابطه با تجهیزات مورد نیاز مانند پروتکتل Zigbee که یک پروتکتل ارزان قیمت می باشد برای استفاده در تجهیزات حفاظتی و ایمنی و سیستم های اعلام و اطفای حریق، زلزله و غیره که برای مدت های طولانی در حالت خواب هستند مناسب است [۶].

مزایای استفاده از سیستم مدیریت هوشمند سازی ساختمان (BMS).

۱. کاهش هزینه های کاربران و ساکنان خانه هوشمند و مصرف بهینه انرژی ۲. حذف نیروی انسانی در این سیستم موجب افزایش عمر مفید و کارکرد بهینه تجهیزات می شود ۳. ایجاد امنیت، آسایش و رفاه بیشتر برای کاربران و ساکنان خانه هوشمند ۴. عدم نیاز به سرویس و تعمیر های ناشی از کاربرد مستمر تجهیزات و کاهش هزینه های مربوط به آن ۵. کمک به حفظ محیط زیست به جهت کاهش مصرف انرژی و گاز های گل خانه ای ۶. امکان کنترل مانیتورینگ نقاط مختلف خانه هوشمند به وسیله تجهیزات همراه، اینترنت، شبکه و غیره وجود دارد ۷. مدیریت و اولویت بندی هوشمندانه تعیین زمان روشن، خاموش و برنامه ریزی برای پیک یا اوج مصرف بار [۲ و ۸].

نتیجه گیری.

در این مقاله به تعامل میان دو ساختمان هوشمند ۳۰ و ۹۰ واحدی پرداختیم به نحوی که ساختمان ها ضمن تبادل اطلاعات به داد و ستد انرژی با یک دیگر نیز می پرداختند. نتایج شبیه سازی مدل پیشنهادی برای سه سناریو متفاوت حاکی از آن است که در صورتی که ساختمان ها ضمن داد و ستد انرژی با شبکه بتوانند با ساختمان های مجاور خود نیز به تبادل انرژی بپردازند قادر خواهند بود که در هزینه های خود صرفه جویی بیشتری نمایند. نشان داده شد که ایجاد تعامل میان ساختمان ها (۲۰۱) باعث افزایش میزان تولید ژنراتور CHP، افزایش حق انتخاب در خرید و فروش برق و همچنین افزایش مشارکت مصرف کنندگان در امر مدیریت مصرف انرژی می گردد. کمک به تعادل عرضه و تقاضا یکی دیگر از مزایای این تعامل به شمار می رود. در ساعات اوج بار که معمولاً قیمت برق نیز بالا می باشد ساختمان ها می توانند با اشتراک ذخائر و تولیدات مازاد خود با سایر مصرف کننده گان به بهره برداران شبکه جهت تبادل عرضه و تقاضا کمک کنند. این امر باعث کاهش مشکلات بهره برداری در ساعات اوج بار و کاهش تولید نیروگاه هایی با سوخت فسیلی می شود. توسعه روز افزون و تلفیق دو دانش الکترونیک، و کامپیوتر و گرایش های مختلف آن به ویژه دانش ساخت میکرو کنترلر ها Fpga، پردازنده ها، هوش مصنوعی و برنامه نویسی می تواند موجب افزایش سرعت پاسخ گویی به تجهیزات شده و کاهش هزینه های تولید را نوید دهد و با ایجاد یک سیستم انعطاف پذیر، محیط کاربر پسند را برای کاربران و ساکنان خانه های هوشمند به ارمغان آورد. و همچنین توجه به طراحی و تنظیم و ثبت استاندارد ها و پروتکل های جدید در زمینه شبکه هوشمند سازی ساختمان می تواند در کاهش هزینه های تولید و افزایش کمی و کیفی و بهینه تر شدن سیستم های هوشمند سازی ساختمان نقش به سزایی داشته باشند. می توان گفت که ساختمان های هوشمند جزئی جدا نشدنی از آینده ی صنعت ساختمان خواهد بود این فناوری علاوه بر همراه داشتن آسایش، امنیت، رفاه برای کاربران سبب شده که جوامع بشری با دید باز تری نسبت به پایداری و حفظ شرایط مطلوب و ایده آل محیط زیست پیرامون بنگرند و این امر سبب شده تا مهندسان و طراحان هوشیار تر و آگاه تر از گذشته به دنبال طراحی و بهینه سازی با راندمان کاری بالا باشند.

منابع.

- ۱- م. امینیان. ش. جدید (۱۳۹۵). (مدیریت انرژی بهینه در ساختمان های هوشمند با قابلیت داد و ستد). مجله انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران_ سال سیزدهم_ شماره سوم_ پاییز.
- ۲- ص. دهقان نیروی. ف. شیخی عنبران (۱۳۹۴). (دومین همایش ملی مدیریت انرژی های نو و پاک ۲۲ مرداد).

- ۳- تفکر، ثریا و ریحانه شاطر زاده، ۱۳۹۳، هگرایی ساختمان و فن آوری اطلاعات نقش فن آوری در تحقق ایده ساختمان هوشمند، سومین همایش ملی فناوری نوین صنعت ساختمان، مشهد مقدس، سالن صبا، ۲۰ و ۲۱ شهریور
- ۴- خدادی نیستاک، رسول (۱۳۹۳). اصول و مبانی سیستم های هوشمند کنترل BMS - (چاپ دوم). نشر کتاب آوا
- ۵- خدابنده لورضا، فیروز شیخی عنبران، صادق دهقان نیری، (۱۳۹۴). بررسی پروتکل های مدیریت هوشمند سازی ساختمان BMS، دومین همایش ملی مهندسی رایانه و مدیریت فناوری اطلاعات، تهران - سالن همایش های بین المللی دانشگاه شهید بهشتی ۱۸ خرداد
- ۶- خیر آبادی، فرشته، سید رضا طالبیان، (۱۳۹۲). پروتکل های ارتباطی مناسب در سیستم مدیریت ساختمان BMS ، همایش ملی مهندسی برق و توسعه پایدار با محوریت دست آورد های نوین در مهندسی برق، مشهد، موسسه آموزش عالی خاوران.
- ۷- ریاضتی، محمد، زمانیان، مهدی، (۱۳۹۳). مدیریت هوشمند سازی BMS، (چاپ اول، تهران: نشر سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی.
- ۸- خدادای شاهین و راهبه نیارکی اصل ، (۱۳۹۰) مزایای ساختمان هوشمند با استفاده از پروتکل KNX . همایش ملی شهر الکترونیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان - آذر ماه
- ۹- مرز، هرمن، توماس هانسمن، کریستوف هویئر، سیستم های BMS مدیریت ساختمان - ترجمه مهندس نیکنامی ، سیف الله و مهندس فاطمه ابراهیمی، چاپ اول، (۱۳۹۲)، تهران نشر یزدا
- ۱۰- عدیلی، حمید رضا، ماهنامه خبری_آموزشی، کنترل و اتوماسیون صنعتی، صنعت هوشمند،، مهرماه ۱۳۸۸ سال دوازدهم شماره ۱۰۱، ص ۱۴
- ۱۱- مهران پور، محمد رضا، (۱۳۹۳)، زیگی، منطق فازی و سیستم مدیریت مصرف انرژی، نخستین همایش ملی سیستم های هوشمند مدیریت ساختمان با رویکرد بهینه سازی مصرف انرژی، قزوین، سازمان نظام مهندسی ساختمان، استان قزوین
- 12- نشریه فنی مهندسی، پشگامان ساختمان، شماره ۷۸.

-13 Anastasi, G, etal, Anintelligentsystem for electrical energy management in buildings, IEEE, 2011.

-11 F.D Angelis, M. boara, D. fuselli, S. Squartini, Optimal Home Energy Management under dynamic electrical and thermal constraints, IEEE Transactions on Industrial Informatics , Vol9, Issue. 3, pp.1518-1527, August 2013

-11 D.zhang, N shah, L. G. papageorgiou, Efficient energy consumption and operation management in a smart building whit microgrid, Energy conversion and management , Vol,74, app.209-222, october2013.

-11 M. Vasirani , s. Ossowski, A Collaborative model for participatory load management in the smart Grid , CEUR Workshop Proceedings, Vol. 918, pp .57-70, 2012

-17 wang. Ko- yang, etal, leverage smart system services Technology for smart green building managment, institute fir information industry, china

-18 D. zhang, L. G. Papageorgiou, N. j. Samsatli, N. shah, optimal Scheduling of Smart Homes Energy Consumption whit Microgrid , ENERGY2001, THE First international conference on smart Grids, Green Communications and it Energy-aware Technologies.