

بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های هوشمند با در نظر گرفتن تعامل میان آن‌ها

مهدی امینیان، شهرام جدید

قطب علمی اتوماسیون و بهره‌برداری سیستم‌های قدرت

دانشکده مهندسی برق - دانشگاه علم و صنعت ایران

m_aminian@Elec.iust.ac.ir, jadid@iust.ac.ir

پارامترها

a_t : قیمت برق در زمان t (£/kWh_e)

A : مساحت پره توربین بادی (m^2)

C_k : میزان مصرف برق بار k

C_{FC} : ظرفیت پیل سوختی (kW_e)

C_{WIND} : ظرفیت ژنراتور بادی (kW_e)

C_{ELE} : ظرفیت ذخیره‌ساز الکتریکی (kWh_e)

CH_{ELE} : حد شارژ ذخیره‌ساز الکتریکی (kW_e)

DI_{ELE} : حد دشارژ ذخیره‌ساز الکتریکی (kW_e)

$E_{h,k}$: دیرترین زمان پایان بار k در خانه h

$S_{h,k}$: زودترین زمان شروع بار k در خانه h

m_{ELE} : هزینه نگهداری واحد ذخیره‌ساز الکتریکی (£/kWh_e)

m_c : قیمت فروش برق به ساختمان‌های دیگر (£/kWh_e)

m_{WIND} : هزینه نگهداری توربین بادی (£/kWh_e)

n_G : قیمت گاز طبیعی (£/kWh)

$P_{h,k}$: زمان عملکرد بار k در خانه h

v_t : سرعت باد (m/s)

wi_t : خروجی توربین باد در زمان t (kWh_e)

چکیده- در این مقاله مدلی ارائه خواهد شد که در آن تعامل میان ساختمان‌های هوشمند جهت کاهش هزینه‌های برق مصرفی خانوار در نظر گرفته شده است. به گونه‌ای که ساختمان‌ها قادر خواهند بود با یگدیگر به دادوستد انرژی بپردازند. این امر علاوه بر افزایش مشارکت مصرف‌کنندگان در امر مدیریت مصرف موجب افزایش بهره‌وری انرژی، کاهش هزینه، رقابت در سمت مصرف و افزایش حق انتخاب در خرید برق خواهد شد. در این مقاله فرض می‌شود ساختمان‌های هوشمند دارای منابع انرژی پراکنده از قبیل توربین بادی، پیل سوختی و ذخیره‌ساز الکتریکی باشند. برنامه‌ریزی بهینه مصرف انرژی خانه هوشمند با استفاده از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ارائه می‌گردد که در آن با در نظر گرفتن امکان تبادل انرژی میان ساختمان‌های هوشمند مدلی جهت بهینه‌سازی هزینه مصرف انرژی در یک روز پیشنهاد می‌گردد. مدل پیشنهادی بر روی دو ساختمان هوشمند متفاوت پیاده‌سازی شده که نتایج شبیه‌سازی موفقیت‌مدل ارائه شده را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی — برنامه‌ریزی، بهینه‌سازی، تعامل میان ساختمان‌ها، خانه هوشمند.

اندیس‌ها

k : بارهای مصرفی قابل برنامه‌ریزی

b : تعداد ساختمان هوشمند

h : تعداد خانه‌ها در هر ساختمان هوشمند

t : بازه زمانی

بهبود بهره‌وری انرژی در ساختمان، تعامل انرژی میان ساختمان‌های هوشمند را می‌توان به عنوان یک راه‌حل در نظر گرفت. در این مقاله فرض می‌شود ساختمان‌های هوشمند دارای منابع انرژی پراکنده از قبیل توربین بادی، پیل-سوختی و ذخیره‌ساز الکتریکی باشند. در این شرایط ساختمان‌های هوشمند ضمن ذخیره‌سازی انرژی در مواقعی که اضافه تولید داشته و یا در مواقعی که قیمت برق پایین است می‌توانند آن را برای استفاده سایر ساختمان‌ها به اشتراک بگذارند. این امر علاوه بر افزایش مشارکت مصرف‌کنندگان در مدیریت مصرف موجب افزایش بهره‌وری انرژی، کاهش هزینه، رقابت در سمت مصرف و افزایش حق انتخاب در خرید برق خواهد شد.

مدل‌های متعددی برای صرفه‌جویی در انرژی و دستیابی به دیدگاه‌های مدیریتی ارائه شده است اما هیچ یک از این مدل‌ها تعامل میان ساختمان‌ها جهت تبادل انرژی را در نظر نگرفته‌اند. در مرجع [۴] مسئله برنامه‌ریزی و کنترل وسایل خانگی جهت مدیریت انرژی خانه با استفاده از یک چارچوب بهینه‌سازی تصادفی چندمرحله‌ای انجام شده است که سطح نارضایتی مشترکین را با توجه به قیود پیک‌بار و هزینه کاهش می‌دهد. مرجع [۵] مسئله متعادل‌سازی بار در خانه‌های هوشمند را با استفاده از بهینه‌سازی ازدحام ذرات^۱ (PSO) انجام داده است. مقاله مذکور استفاده از انرژی باد و خورشید را به عنوان منابع انرژی پاک برای خانه هوشمند در نظر گرفته است و موازنه بار را بگونه‌ای انجام داده است که هزینه برق مصرفی خانه کاهش یابد که این هدف با حداکثرسازی مصرف انرژی از منابع انرژی پاک بدست آمده است. مرجع [۳] به منظور دستیابی به بهینه‌سازی چندهدفه بین صرفه‌جویی در پول و راحتی زندگی به بررسی مدل‌های ریاضی اجزای مختلف پرداخته و از مفهوم جدید "ارزش بار" برای اندازه‌گیری کمی رضایت مشترکین استفاده کرده است. مرجع [۶] روش مدل‌سازی خدمات انرژی را پیشنهاد کرده است به گونه‌ای که تغییرات موقتی دیماندا و ارزش آن را ثبت نموده و از انرژی الکتریکی مصرف شده بوسیله تجهیزات کاربر نهایی متمایز می‌کند. نویسندگان مقاله مذکور روش فوق را با هدف حداکثرسازی سود خالص ناشی از خدمات انرژی و کمینه شدن هزینه مصرف انجام داده است.

در این مقاله مدلی ارائه خواهد شد که هم بهینه‌سازی بهره‌برداری از فن‌آوری‌های منابع تولیدپراکنده، ذخیره‌سازهای انرژی و هم امکان تعامل و تبادل انرژی میان ساختمان‌های هوشمند را بر اساس تعرفه‌های متفاوت برق

α : بازده الکتریکی پیل سوختی

δ : مدت بازه زمانی (hour)

ρ : چگالی هوا (kg/m^3)

η_{ELE} : بازده شارژ/دشارژ ذخیره‌ساز الکتریکی

η_W : بازده توربین بادی

$L_{b,t}$: توان مصرفی بارهای پایه در ساختمان b در زمان t (kW_e)

متغیرهای مثبت

$Im_{b,t}$: برق گرفته شده از شبکه توسط ساختمان b در زمان t (kWh_e)

ISE_b : حالت اولیه ذخیره‌ساز الکتریکی ساختمان b (kWh_e)

B_b : هزینه برق روزانه ساختمان b (£)

$Se_{b,t}$: برق موجود در ذخیره‌ساز ساختمان b در زمان t (kWh_e)

$FC_{b,t}$: خروجی پیل سوختی ساختمان b در زمان t (kW_e)

$\gamma_{b,t}$: نرخ دشارژ ذخیره‌ساز الکتریکی ساختمان b در زمان t (kW_e)

$z_{b,t}$: نرخ شارژ ذخیره‌ساز الکتریکی ساختمان b در زمان t (kW_e)

متغیرهای باینری

$Te_{b,h,k,t}$: اگر بار k در ساختمان b در خانه h در زمان t خاتمه یابد ۱ است، در غیر این صورت صفر می‌باشد.

$Ts_{b,h,k,t}$: اگر بار k در ساختمان b در خانه h در زمان t آغاز شود ۱ است، در غیر این صورت صفر می‌باشد.

$W_{b,h,k,t}$: اگر بار k در ساختمان b در خانه h در زمان t در حال انجام باشد ۱ است، در غیر این صورت صفر می‌باشد.

۱. مقدمه

بحران انرژی در سرتاسر جهان یکی از جدی‌ترین چالش‌های پیش‌روی توسعه پایدار جامعه بشری در قرن ۲۱ می‌باشد. براساس دپارتمان انرژی ایالات متحده، در کشورهای صنعتی حدود ۴۰٪ از کل انرژی در ساختمان‌ها مصرف می‌شود، که در میان آن سهم برق ۶۸٪ می‌باشد [۱]. هدف ساختمان هوشمند ساختمانی امن و راحت با بهره‌وری در مصرف انرژی، مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست محل زندگی است [۲ و ۳]. در تلاش جهت

ذخیره ساز الکتریکی:

$$Se_{b,t} \leq C_{ELE} \quad \forall b, 1 \leq t \leq T \quad (3)$$

۲.۳. قیود ذخیره ساز انرژی

برق ذخیره شده در ذخیره ساز الکتریکی در زمان t برابر است با:

$$Se_{b,t} = Se_{b,t-1} + z_{b,t} \eta_{ELE} \delta - y_{b,t} \delta / \eta_{ELE} - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq b}}^n y_{C_{b,i,t}} \delta / \eta_{ELE} \quad \forall b, 1 \leq t \leq T \quad (4)$$

برق ذخیره شده بایستی در پایان روز به حالت اولیه بازگردد،

$$Se_{b,0} = Se_{b,T} = ISe_b \quad \forall b \quad (5)$$

نرخ های شارژ و دشارژ برق نمی تواند بیشتر از حدود شارژ و دشارژ ذخیره ساز الکتریکی باشد:

$$y_{b,t} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq b}}^n y_{C_{b,i,t}} \leq DI_{ELE} \quad \forall b, 1 \leq t \leq T \quad (6)$$

$$z_{b,t} \leq CH_{ELE} \quad \forall b, 1 \leq t \leq T \quad (7)$$

۲.۴. زمان شروع و زمان پایان

زمان شروع هر برنامه نمی تواند زودتر از زودترین زمان شروع داده شده باشد،

$$\sum_{t \geq S_{h,k}}^{E_{h,k} - P_{h,k}} Ts_{b,h,k,t} = 1 \quad \forall b, h, k \quad (8)$$

زمان پایان هر برنامه نمی تواند دیرتر از دیرترین زمان پایان داده شده باشد،

$$\sum_{t \leq S_{h,k} + P_{h,k}}^{E_{h,k}} Te_{b,h,k,t} = 1 \quad \forall b, h, k \quad (9)$$

اگر یک برنامه در زمان t شروع شود، باید در زمان t بعلاوه زمان عملکرد آن $(P_{h,k})$ خاتمه یابد،

$$Ts_{b,h,k,t} = Te_{b,h,k,t+P_{h,k}} \quad \forall b, h, k, S_{h,k} \leq t \leq T - P_{h,k} + 1 \quad (10)$$

تمام برنامه ها باید بطور پیوسته از زمان شروع شان تا زمان پایان شان کار کنند،

$$W_{b,h,k,t} = W_{b,h,k,t-1} + Ts_{b,h,k,t} - Te_{b,h,k,t} \quad \forall b, h, k, 1 \leq t \leq T \quad (11)$$

پوشش می دهد. هدف کمینه سازی هزینه کل مصرف انرژی (هزینه انرژی و بهره برداری) ساختمان های هوشمند برای روز بعد می باشد.

در ادامه ساختار مقاله به این شرح است: در بخش ۲ مدل ریاضی طرح پیشنهادی ارائه می شود، در بخش ۳ مطالعه موردی برای شبیه سازی مدل شرح داده خواهد شد، در بخش ۴ نتایج بهینه سازی ارائه می گردد و در نهایت نتیجه گیری پایان بخش این مقاله در بخش ۵ خواهد بود.

۲. فرمول بندی ریاضی مدل

مسئله برنامه ریزی مصرف برق خانه های هوشمند به صورت یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح (MILP^۲) فرمول بندی می شود. برنامه های روزانه مصرف برق براساس بازه زمانی عملکرد داده شده (زودترین زمان شروع و دیرترین زمان پایان) برنامه ریزی می شود و هدف کمینه سازی هزینه برق روزانه و کاهش پیک مصرف برق می باشد. قیود مفروض در بهینه سازی به صورت زیر می باشند:

۲.۱. تابع هزینه هر ساختمان

تابع هزینه روزانه هر ساختمان به صورت زیر فرمول بندی می شود:

$$B_b = \sum_t [(Fc_{b,t} n_G / \alpha + w_i m_{WIND} + y_{b,t} m_{ELE} + In_{b,t} a_t + \sum_{i=1, i \neq b}^n m_c y_{C_{b,i,t}} - \sum_{i=1, i \neq b}^n (m_c - m_{ELE}) y_{C_{b,i,t}}] \delta] \quad \forall b \quad (1)$$

که در آن n تعداد ساختمان های هوشمند را نشان می دهد، $y_{C_{b,i,t}}$ میزان دشارژ باتری ساختمان i ام توسط ساختمان b ام را در زمان t نشان می دهد و $y_{C_{b,i,t}}$ بیانگر میزان دشارژ باتری ساختمان b ام توسط ساختمان i ام در زمان t است. تابع هدف کمینه کردن هزینه روزانه هر ساختمان برای یک دوره ۲۴ ساعته می باشد.

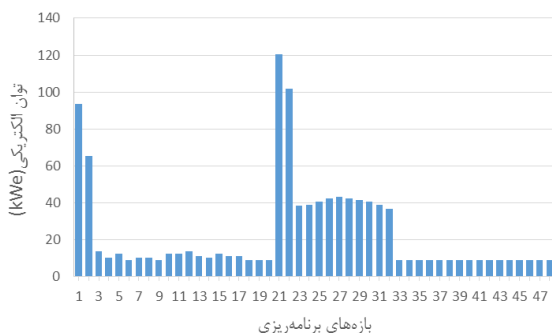
۲.۲. قیود ظرفیت

خروجی هر یک از تجهیزات نباید بیش از ظرفیت طراحی آن ها باشد،

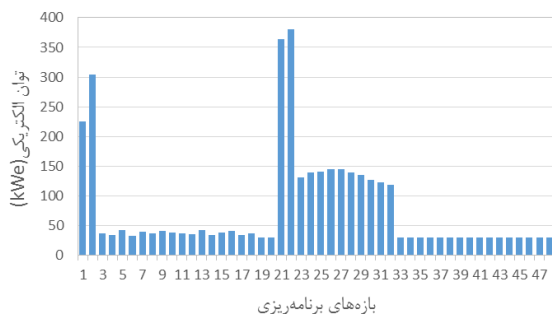
پیل سوختی:

$$Fc_{b,t} \leq C_{FC} \quad \forall b, 1 \leq t \leq T \quad (2)$$

برنامه ها در طول شبانه روز استفاده می شوند تا آنجا که هر یک از آن ها در صورت روشن شدن، تا اتمام مدت عملکرد خود بطور پیوسته روشن می ماند و سپس خاموش می شوند. برای هر یک از ساختمان های مورد مطالعه پروفیل باری که ناشی از بارهای غیرقابل برنامه ریزی است بصورت تصادفی و با در نظر گرفتن موارد فوق ایجاد شده است که در شکل های ۱ و ۲ نشان داده شده اند.



شکل ۱: منحنی بار وسایل غیرقابل برنامه ریزی در ساختمان ۱



شکل ۲: منحنی بار وسایل غیرقابل برنامه ریزی در ساختمان ۲

در این مطالعه مزرعه بادی شامل ۱۰ توربین بادی مجزا با بازده ۴۷٪ برای هر ساختمان می باشد. قطر پره ها ۱/۶ متر فرض می گردد. $V_{cut-out}$ و V_{cut-in} باد به ترتیب ۵ m/s 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 m/s تا ۲۵ m/s ثابت و برابر با توان خروجی در سرعت نامی باد می باشد. در سرعت های بین ۵ m/s و ۱۲ m/s خروجی توربین بادی براساس رابطه (۱۳) تغییر می کند. اطلاعات سرعت باد برای یک شبانه روز در شکل ۳ داده شده است [۷].

برنامه بهینه سازی باید زمان دقیق عملکرد یا به عبارت دیگر وضعیت روشن و خاموش بودن وسایل در هر بازه را برای هر وسیله قابل برنامه ریزی براساس تعرفه های اعلام شده تعیین نماید. تعرفه های مورد استفاده در این مقاله در مرجع [۸] داده شده است.

۲.۵. تعادل انرژی

برق مصرف شده در هر دوره از زمان بوسیله رابطه زیر تامین می شود،

$$\sum_h \sum_k W_{b,h,k,t} C_k + L_{b,t} = w_i + Fc_{b,t} + y_{b,t} \quad (12)$$

$$+ \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq b}}^n y_{C_{i,b,t}} - z_{b,t} + In_{b,t} \quad \forall b, 1 \leq t \leq T$$

۲.۶. خروجی توربین بادی

برق خروجی از توربین های بادی از طریق معادله تولید توان باد محاسبه می شود:

$$w_i = 0.5 \rho A v_t^3 \eta_w \quad \forall t \quad (13)$$

۳. مطالعه موردی

برای ارزیابی مدل پیشنهادی دو ساختمان هوشمند در نظر گرفته شده است که در آن ساختمان اول دارای ۳۰ واحد مسکونی و ساختمان دوم دارای ۵۰ واحد مسکونی می باشد. منابع تولید انرژی موجود در هر ساختمان عبارتند از: یک واحد ذخیره ساز الکتریکی با ظرفیت ۵۰ kWh_e در ساختمان ۱ و یک واحد ذخیره ساز الکتریکی با ظرفیت ۱۰ kWh_e در ساختمان ۲، بازده شارژ/دشارژ هر دو ذخیره ساز ۹۵٪، حد شارژ و دشارژ به ترتیب برابر با ۵۰ kW_e و ۱۰ kW_e می باشد و هزینه نگهداری (p/kWh_e) ۰/۵ £/kWh_e (۰/۰۰۵) فرض می شود. یک مزرعه بادی که در آن هر توربین بادی دارای ظرفیت ۱۱ kW_e و هزینه نگهداری ۰/۵ p/kWh_e می باشد. یک پیل سوختی با ظرفیت ۴۰ kW_e که بازده آن ۴۵٪ می باشد، و قیمت گاز طبیعی ۲ p/kWh_e است.

بازه های برنامه ریزی ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شده است و طول مدت برنامه ریزی ۲۴ ساعت آینده می باشد بنابراین در کل ۴۸ بازه زمانی وجود دارد. زمان شروع برنامه ریزی ساعت ۸ صبح است و زمان پایان برنامه ریزی ساعت ۸ صبح روز بعد می باشد. برای مصرف برق در هر یک از خانه ها ۱۲ بار اصلی در نظر گرفته شده است که به دو دسته بارهای قابل برنامه ریزی و بارهای غیرقابل برنامه ریزی تقسیم بندی شده اند (جدول ۱). از آنجا که کنترلی بر روی بارهای غیرقابل برنامه ریزی وجود ندارد لذا این بارها 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 که اولاً تمام این

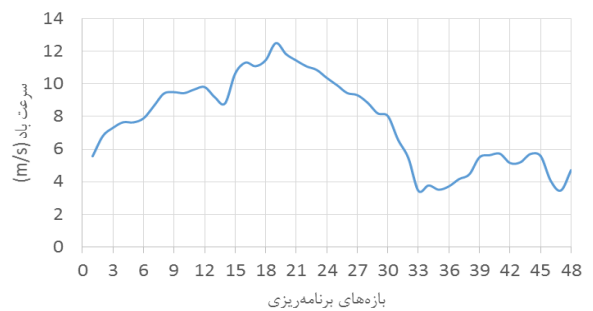
جدول ۱: اطلاعات مصرف بارهای خانگی [۹]

ردیف	بار مصرفی	نوع بار	میزان مصرف (kW)	زودترین زمان شروع (ساعت)	دیرترین زمان پایان (ساعت)	مدت عملکرد (ساعت)
۱	یخچال	غیرقابل برنامه ریزی	۰/۳	۰	۲۴	۲۴
۲	جاروبرقی	غیرقابل برنامه ریزی	۱/۲	۹	۱۷	۰/۵
۳	روشنایی داخلی	غیرقابل برنامه ریزی	۰/۸۴	۱۸	۲۴	۶
۴	لپ تاپ	غیرقابل برنامه ریزی	۰/۱	۱۸	۲۴	۲
۵	کامپیوتر	غیرقابل برنامه ریزی	۰/۳	۱۸	۲۴	۳
۶	مایکروویو	غیرقابل برنامه ریزی	۱/۷	۸	۹	۰/۵
۷	اجاق برقی	غیرقابل برنامه ریزی	۵	۱۸	۱۹	۰/۵
۸	رادیو	غیرقابل برنامه ریزی	۳	۸	۹	۰/۵
۹	ماشین لباسشویی	قابل برنامه ریزی	۱	۹	۱۲	۱/۵
۱۰	لباس خشک کن	قابل برنامه ریزی	۳	۱۳	۱۸	۱
۱۱	ماشین ظرفشویی	قابل برنامه ریزی	۱	۹	۱۷	۳
۱۲	خودرو الکتریکی	قابل برنامه ریزی	۳/۵	۱۸	۸	۳

۴.۱. سناریو ۱: عدم مشارکت بارهای قابل برنامه ریزی

در این سناریو جهت مقایسه، به یک نمونه از الگوی مصرف بدون برنامه ریزی اشاره می شود لذا فرض می گردد تمام وسایل قابل برنامه ریزی در زودترین زمان شروع خود آغاز می شوند و تعاملی میان ساختمان ها وجود ندارد. تعادل بهینه توان الکتریکی بدست آمده در این سناریو برای ساختمان های ۱ و ۲ به ترتیب در شکل های ۴ و ۵ آورده شده اند. زمان بهره برداری از هر یک از منابع تولید انرژی براساس کمینه سازی هزینه کل بهره برداری برنامه ریزی شده است.

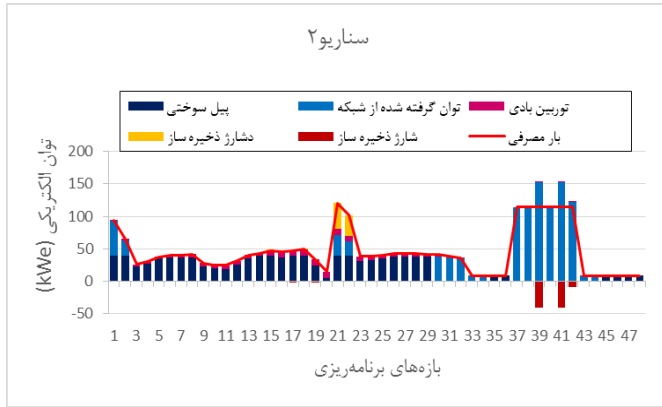
در این سناریو برای ساختمان ۱ اوج مصرف به ۲۲۵/۴ کیلووات و برای ساختمان ۲ به ۳۶۲/۹ کیلووات می رسد. متوسط مصرف کل وسایل، در ساختمان ۱، ۴۵/۹۸ کیلووات ساعت و در ساختمان ۲، ۷۶/۷۲ کیلووات ساعت به ازای یک بازه است. نتیجه آنکه نسبت اوج به متوسط مصرف (ضریب بار) برای ساختمان ۱، برابر با ۰/۲۰۴ و برای ساختمان ۲، برابر با ۰/۲۱۱۴ می گردد. همچنین هزینه مصرف برای یک روز در ساختمان ۱، ۶۹/۰۵ پوند و در ساختمان ۲، ۱۳۳/۳۸ پوند خواهد بود. در این حالت ۶۱٪ از کل بار از شبکه تامین می شود.



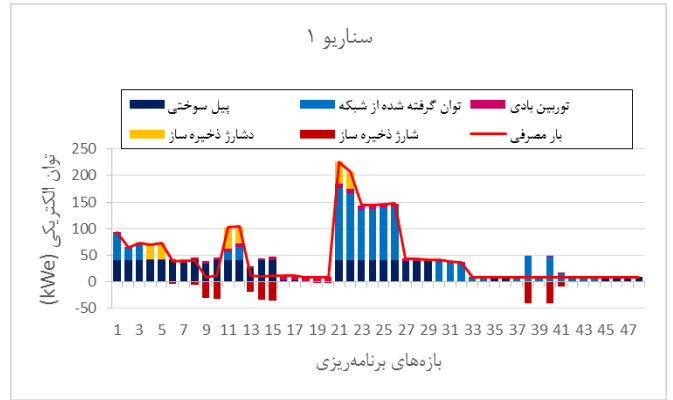
شکل ۳: منحنی سرعت باد

۴. نتایج شبیه سازی

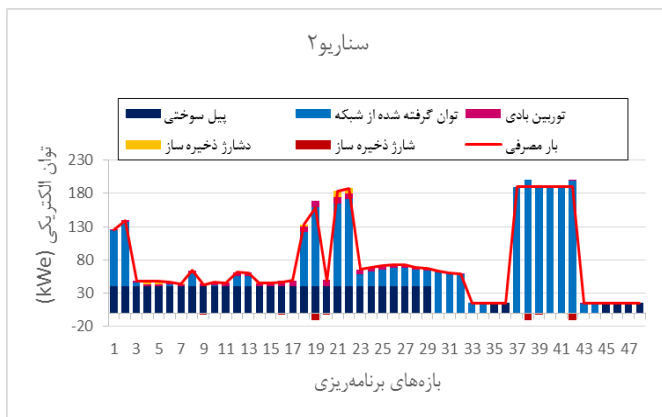
در این بخش به تحلیل و بررسی فرمول بندی ارائه شده می پردازیم. زمان بندی مصرف بارهای قابل برنامه ریزی از طریق حل مسئله بهینه سازی خطی که در بخش های قبل توضیح داده شد، صورت می گیرد. مسئله بهینه سازی مذکور توسط CPLEX 11.2.1 تحت GAMS و توسط حلال برنامه ریزی خطی عدد صحیح حل می شوند. جهت ارزیابی مدل پیشنهادی سه سناریو متفاوت برای هر ساختمان بررسی می شود که در ادامه به شرح آن خواهیم پرداخت:



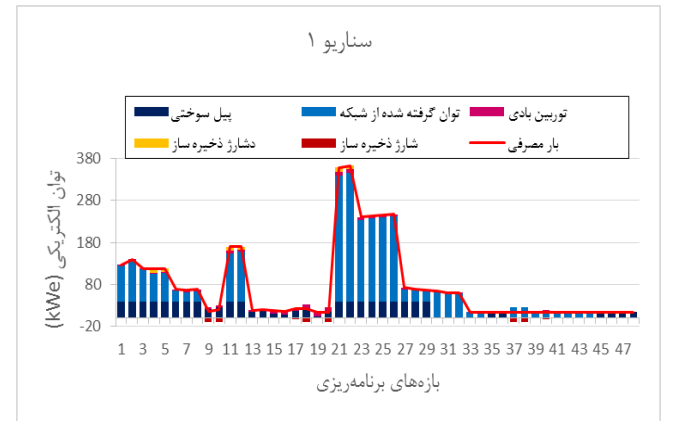
شکل ۶: تعادل توان الکتریکی در ساختمان ۱



شکل ۴: تعادل توان الکتریکی در ساختمان ۱



شکل ۷: تعادل توان الکتریکی در ساختمان ۲



شکل ۵: تعادل توان الکتریکی در ساختمان ۲

۴.۳. سناریو ۳: سناریو ۲ به همراه تعامل میان ساختمان ها

در این سناریو علاوه بر مشارکت بارهای قابل برنامه ریزی تعامل میان ساختمان ها نیز در نظر گرفته شده است. از این منظر ساختمان ها قادر خواهند بود تا بتوانند در صورت نیاز از ظرفیت مازاد شارژ موجود در ذخیره سازهای سایر ساختمان های دیگر استفاده کنند. قیمت فروش برق مبادله ای بین ساختمان ها $7/5 \text{ p/kWh}$ فرض می شود. در اینجا تابع هدف بایستی به طور همزمان هزینه برق مصرفی روزانه ساختمان ها را کمینه نماید. از این رو با چندین تابع هدف سروکار خواهیم داشت لذا از روش مجموع وزنی برای تبدیل آن به یک تابع تک هدفه استفاده می کنیم. در این روش تمامی توابع هدف را با ضرایب وزنی که به هر کدام اختصاص می دهیم، جمع می نماییم. لذا تابع هدف به صورت زیر بازنویسی می شود،

$$\min \sum_{i=1}^b B_i w_i \quad (14)$$

که $w_i \geq 0$ ضرایب وزنی هستند که اهمیت نسبی توابع را نشان می دهند. معمولاً باید فرض شود که:

۴.۲. سناریو ۲: مشارکت بارهای قابل برنامه ریزی

در این سناریو مسئله مشارکت وسایل خانگی با هدف حداقل ساختن هزینه های ساختمان با فرمول بندی ارائه شده در بخش ۲ را حل می کنیم. فرض می شود بارهای قابل برنامه ریزی می توانند جهت کاهش اوج بار و نیز کاهش میزان برق گرفته شده از شبکه تا جایی که امکان دارد جابجا شوند و در بهینه سازی هزینه مصرف برق ساختمان مشارکت داشته باشند. توجه داشته باشید که ساختمان ها قابلیت تعامل با یکدیگر را ندارند. شکل های ۶ و ۷ به ترتیب تعادل بهینه توان الکتریکی را برای ساختمان ۱ و ۲ نمایش می دهند.

در این سناریو برای ساختمان ۱ اوج مصرف تا $120/4$ کیلووات و برای ساختمان ۲ تا 190 کیلووات کاهش می یابد. نتیجه آنکه ضریب بار برای ساختمان ۱ تا $0/38$ و برای ساختمان ۲ تا $0/404$ بهبود می یابد. همچنین هزینه مصرف برای یک روز در ساختمان ۱، $47/25$ پوند و در ساختمان ۲، $93/28$ پوند خواهد بود که نسبت به سناریو قبل کاهش قابل ملاحظه ای داشته است. در این حالت تنها 56% از کل بار بوسیله شبکه تغذیه می گردد.

۵. نتیجه گیری

$$\sum_{i=1}^b w_i = I$$

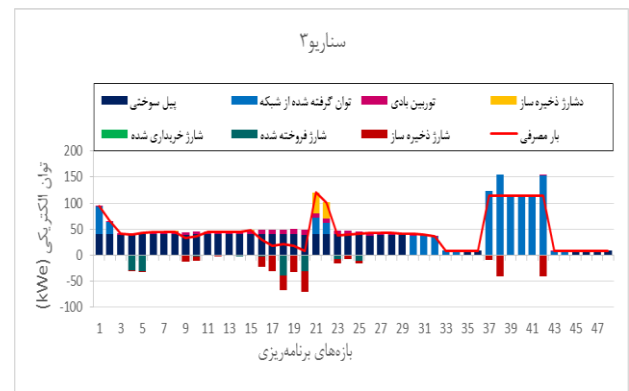
با توجه به هوشمند شدن سیستم توزیع و فعال شدن مشترکین در امر مدیریت و مصرف انرژی در این مقاله مدلی ارائه گردید که با استفاده از آن خانه های هوشمند قادر خواهند بود جهت کاهش هزینه های برق مصرفی به برنامه ریزی بهینه مصرف و بهره برداری از منابع تولید انرژی و تعامل با سایر ساختمان ها بپردازند. در این مدل ساختمان های هوشمند می توانند در صورت نیاز از شارژ باتری ساختمان دیگری استفاده کنند که این امر باعث می شود از منابع انرژی موجود در ساختمان ها به نحو کارآمدتری استفاده شود، بگونه ای که در سناریو اول ۳۳٪ از کل بار توسط پیل سوختی تامین شده است در حالیکه در سناریو دوم ۳۸٪ کل بار و در سناریو سوم که تعامل میان ساختمان ها نیز لحاظ شده است تا ۴۱٪ از کل بار مصرفی بوسیله پیل سوختی تامین می گردد. همچنین تعامل میان ساختمان ها باعث خواهد شد تا مصرف کنندگان جهت تامین بار مصرفی خود حق انتخاب بیشتری در خرید برق داشته باشند که این امر خود به خود موجب کاهش هزینه خرید برق می گردد.

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 ۰/۵ خواهد بود.

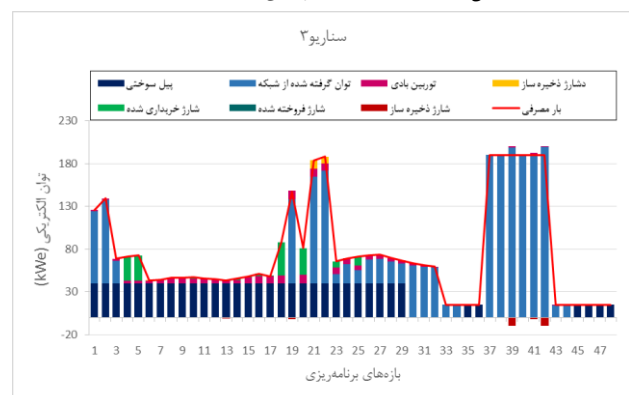
تعادل بهینه توان الکتریکی برای ساختمان های ۱ و ۲ به ترتیب در شکل های ۸ و ۹ نشان داده شده اند. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که اوج بار برای هر دو ساختمان ثابت می ماند اما با این حال توانی که توسط شبکه تامین می شود ۵۳٪ کل بار است که کاهش ۳ درصدی این سناریو نسبت به سناریوی قبلی ناشی از تعامل میان ساختمان ها می باشد. لازم به ذکر است که ساختمان ۱ به میزان ۱۵۵/۶۵ کیلووات از شارژ ملزاد خود را به ساختمان ۲ می فروشد در حالی که از ساختمان ۲ شارژی خریداری نمی کند. همچنین هزینه مصرف برای یک روز در ساختمان ۱، ۶۷/۰۹ پوند و در ساختمان ۲، ۹۲/۶۸ پوند می باشد که در مقایسه با سناریوهایی که تاکنون بررسی شده کاهش یافته است.

مراجع

- [1] X. Guan, Zh. Xu, Q. Jia, "Energy-Efficient Buildings Facilitated by Microgrid" IEEE Transactions on smart grid, vol. 1, pp. 243-252, December 2010.
- [2] F. P. Moghaddam, R. Sulaiman "A Study on Crises Management System in Collaborative Smart Homes" 6th Symposium on Advances in Science and Technology Malaysia, Kuala Lumpur, March 2012.
- [3] J. Wang, Zh. Sun, Y. Zhou, J. Dai, "Optimal Dispatching Model of Smart Home Energy Management System" IEEE PES ISGT Asia, Tianjin, pp. 1-5, May 2012.
- [4] L. Jia, Zhe Yu, M.C. Murphy-Hoye, A.Pratt, E. G. Piccioli, L. Tong, "Multi-Scale Stochastic Optimization for Home Energy Management" IEEE CAMSAP'11, New York, December 2011.
- [5] H. M. Lugo-Cordero, A.Fuentes-Rivera, R. K. Guha, E. I. Ortiz-Rivera, "Particle Swarm Optimization for Load Balancing in Green Smart Homes" IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp. 715-720, June 2011.
- [6] M. A. Pedrasa, E. D. Spooner, I. F. MacGill, "Improved Energy Services Provision through the Intelligent Control of Distributed Energy Resources" IEEE Bucharest Power Tech Conference, Romania, pp. 1-8, June 28th-July 2nd 2009.
- [7] online available at: <http://www.berthon.co.uk/lymington-marina/lymington-wind-speed-weather.html>.
- [8] D. Zhang, N. Shah, L. G. Papageorgiou, "Efficient energy consumption and operation management in a smart building with microgrid" Energy Conversion and Management, vol. 74, pp. 209-222, October 2013.
- [9] D.Zhang, L. G. Papageorgiou, N.J. Samsatli, N. Shah, "Optimal Scheduling of Smart Homes Energy Consumption with Microgrid" The First International Conference on Smart Grids, Green Communications and IT Energy-aware Technologies, 2011.



شکل ۸: تعادل توان الکتریکی در ساختمان ۱



شکل ۹: تعادل توان الکتریکی در ساختمان ۲