



## خانه هوشمند چندعامله : مدل سازی و شبیه سازی راهبرد مدیریت انرژی مبتنی بر عامل های هوشمند

سیروان پرسته<sup>۱</sup>، ناصر مزینی<sup>۲</sup>، عادل ترکمان رحمانی<sup>۳</sup> و شهرام جدید<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه علم و صنعت ایران، sirvan\_paraste@comp.iust.ac.ir

<sup>۲</sup> دانشگاه علم و صنعت ایران، mozayani@iust.ac.ir

<sup>۳</sup> دانشگاه علم و صنعت ایران، rahmani@iust.ac.ir

<sup>۴</sup> دانشگاه علم و صنعت ایران، jadid@iust.ac.ir

چکیده - بخش بزرگ و روز افزونی از تقاضای انرژی در نواحی مسکونی صورت می گیرد. به همین دلیل، مدیریت هوشمند انرژی در این نواحی با استفاده از تجهیزات هوشمند، منابع تجدیدپذیر و زیرساخت اندازه گیری هوشمند، مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله خانه هوشمند با یک سیستم چندعامله مدل و پیاده سازی شده است. برای این منظور از چهار نوع عامل هوشمند استفاده شده است: عامل بار، عامل مولد، عامل کنترل و عامل کنترلی خانه. همچنین برای مدیریت هوشمند انرژی به صورت چندعامله، یک راهبرد دو سطحی معرفی شده است. در این راهبرد مسئله زمانبندی بارها به زیر مسائل کوچک تری تقسیم شده و عامل های هوشمند با تکیه بر قابلیت های استقلال، همکاری و تعامل بین خود برای یافتن راه حل بهینه عمل می کنند. در این کار ابزاری برای شبیه سازی خانه هوشمند چندعامله در محیط توسعه عامل مبتنی بر جاوا (JADE) پیاده سازی شده است. نتایج شبیه سازی موفقیت راهبرد ارائه شده را نشان می دهد.

کلید واژه - خانه هوشمند، سیستم چند عامله، عامل هوشمند، مدیریت انرژی خانه

### ۱- مقدمه

آب و هوا، عدم قطعیت در رفتار ساکنین، اضافه و حذف شدن سرویس ها و دستگاه ها کار را برای روال های کنترلی متمرکز و قطعی سخت و ناممکن می کند. به همین دلیل رویکردهای توزیع شده برای پیاده سازی عملکردهای کنترلی خانه هوشمند بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند [۳].

در این مقاله یک مدل چندعامله برای مدیریت انرژی در خانه های هوشمند ارائه و پیاده سازی شده است. سیستم چند-عامله از شاخه های مهم هوش مصنوعی توزیع شده محسوب می شود. در رویکردهای چندعامله مسائل بزرگ و پیچیده را می توان با تقسیم بین عامل های هوشمند و ایجاد هماهنگی و همکاری آنها به صورت خودکار و توزیع شده حل کرد. هر عامل به صورت خودمختار برای دستیابی به اهداف محلی خود کار می کند و در عین حال برای برآورده شدن اهداف سراسری سیستم با سایر عامل ها همکاری و ارتباط دارد. عامل ها در یک محیط واقع شده و بر اساس تغییرات محیطی واکنش نشان می دهند. در کنار ویژگی های عامل ها، سیستم چندعامله ساختاری باز و توسعه پذیر دارد و با فراهم آوردن زبانی مشترک و استاندارد، قابلیت

شبکه هوشمند راه حل های امیدبخشی برای حل چالش های سیستم قدرت کنونی ارائه می کند. اثرات گلخانه ای، کمبود منابع فسیلی و از طرف دیگر، روند روبه رشد تقاضای انرژی مسائل بسیار مهمی هستند که با مدیریت و کنترل هوشمند عرضه و تقاضای انرژی می توان برای آن ها پاسخ هایی ارائه کرد [۱]. بخش عمده ای تقاضای برق در نواحی خانگی ایجاد می شود. با توسعه زیرساخت اندازه گیری هوشمند (AMI)، امکان پویا ساختن نقش مصرف کننده خانگی در روش های مدیریت سمت تقاضا فراهم می شود [۲]. از این رو ارائه و پیاده سازی راهبردهای هوشمند مدیریت انرژی و منابع از چالش های مهمی است که در سطح خانه هوشمند مورد توجه محققین قرار گرفته است. از طرفی مدیریت و برنامه ریزی منابع انرژی در خانه هوشمند با دشواری های خاصی همراه است. خانه هوشمند دارای محیطی پویا، غیر قطعی و پیچیده است. تغییرات ناگهانی شرایط محیطی نظیر

همکاری بین عامل‌های مختلف را به وجود می‌آورد [۴].

برای مدل‌سازی چندعامله خانه هوشمند در این مقاله، چهار نوع عامل تعریف شده‌اند: عامل بار، عامل مولد، عامل کنترل و عامل کنترلی خانه. عامل‌های تجهیزات هوشمند از نوع عامل بار و عامل‌های تولیدات پراکنده از نوع عامل مولد هستند. عامل کنترل هوشمند به عنوان پل ارتباطی بین شبکه و خانه هوشمند و عامل کنترلی خانه نیز راهبردها و سیاست‌های مدیریت انرژی از جمله اولویت‌گذاری بارها و هماهنگی بین عامل‌های مختلف را برعهده دارد. یک محیط شبیه‌سازی بر اساس این مدل در محیط توسعه عامل مبتنی بر جاوا (JADE) پیاده‌سازی شده است. همچنین با تکیه بر قابلیت‌های مدل ارائه شده، یک راهبرد دو سطحی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در خانه هوشمند پیاده‌سازی شده است. در سطح اول عامل‌ها با تکیه بر استقلال و قابلیت ارتباطی خود سعی در کمینه کردن هزینه انجام سرویس محوله‌شان دارند. در سطح بالاتر عامل‌هایی که سرویس‌های آنها همپوشانی دارند، برای دستیابی به راه‌حل بهینه تر به صورت گروهی زمان‌بندی می‌شوند. به صورت دقیق و با جزئیات کافی این مدل در مقاله توصیف و نتایج مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

در ادامه ساختار مقاله به این شرح است: در بخش ۲ مروری بر کارهای انجام شده در این حوزه ارائه می‌شود. بخش ۳ مدل پیشنهادی و راهبرد مدیریت انرژی به تفصیل آورده می‌شود و بخش ۴ به بررسی پیاده‌سازی و شبیه‌سازی مدل و نتایج بدست آمده می‌پردازد. در نهایت در بخش ۵ نتیجه‌گیری و کارهای آتی آورده می‌شود.

## ۲- کارهای انجام شده

در این مقاله با در نظر گرفتن ویژگی‌ها و مزایای کارهای قبلی سعی شده است یک مدل جامع با استفاده از دسته‌بندی و مدل‌سازی واقعی‌تر از تجهیزات خانگی و منابع انرژی پراکنده ارائه شود. بر پایه ارتباط و هماهنگی میان عامل‌ها و با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی سعی شده است راهبردی برای مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی با تقسیم فضای مسئله به مسائل کوچک‌تر و حل مستقل زیرمسائل با در نظر گرفتن آسایش ساکنین ارائه شود.

## ۳- مدل پیشنهادی

در خانه هوشمند، مدیریت و کنترل وظایف در محیطی پویا، غیر قطعی و پیچیده بایستی صورت پذیرد. به همین دلیل

در ادامه ساختار مقاله به این شرح است: در بخش ۲ مروری بر کارهای انجام شده در این حوزه ارائه می‌شود. بخش ۳ مدل پیشنهادی و راهبرد مدیریت انرژی به تفصیل آورده می‌شود و بخش ۴ به بررسی پیاده‌سازی و شبیه‌سازی مدل و نتایج بدست آمده می‌پردازد. در نهایت در بخش ۵ نتیجه‌گیری و کارهای آتی آورده می‌شود.

اهمیت فراوان مدیریت منابع انرژی در نواحی خانگی و امیدبخش بودن آن با حضور خانه هوشمند را می‌توان در تلاش‌های گسترده محققین این حوزه مشاهده نمود. بیشتر کارهای انجام شده در این حوزه بر روی مدل‌سازی تجهیزات هوشمند و رفتار ساکنین و نیز ارائه روش‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی تمرکز داشته‌اند. پروژه MavHome یک سیستم چندعامله با قابلیت یادگیری رفتار ساکنین ارائه کرده است [۵]. تعامل و همکاری عامل‌ها برای به اشتراک گذاری منابع به صورت همکارانه در [۶] نشان داده شده است. برخی نویسندگان راه‌حل‌هایی ترکیبی متمرکز و توزیع شده با تکیه بر عامل‌هایی با قابلیت‌های متفاوت ارائه داده‌اند. در [۷] یک راه حل مبتنی بر

### ۳،۱،۱. عامل بار

عامل‌های کنترلی تجهیزات هوشمند در این دسته قرار می‌گیرند. هر کدام از این عامل‌ها یک سرویس انرژی مرتبط با خود را به گونه‌ای برنامه‌ریزی می‌کند که هزینه تمام شده در بازه تعیین شده اجرای سرویس کمینه شود. سرویس‌های موجود در خانه هوشمند را از نظر توانایی شرکت در برنامه‌های مدیریت انرژی می‌توان به دو دسته تقسیم‌بندی کرد. سرویس‌های انتقال‌پذیر که زمان سرویس آن‌ها را می‌توان به سعاتی دیگر انتقال داد و بارهایی که قابل انتقال نیستند. از طرفی سرویس‌های اقبال انتقال خود به دو دسته وقفه‌پذیر و یا تجزیه‌ناپذیر تقسیم می‌شوند. اگر یک سرویس را در حین اجرا بتوان وقفه داد و ادامه آن را به زمان دیگری موکول کرد، آن سرویس وقفه‌پذیر بوده و در غیر این صورت سرویس تجزیه‌ناپذیر است. سرویس‌های غیر قابل انتقال نیز به دو دسته تقسیم می‌شوند. سرویس‌های پارامتری که میزان توان مصرفی آنها در طول اجرای سرویس قابل تغییر است (بر اساس یک حد آستانه رضایت) و یا سرویس‌های پایه که در برنامه‌ریزی کاهش مصرف عموماً شرکت‌پذیر نیستند، اما داخل کردن داده‌های آنها برای مدل‌سازی بهتر تاثیرگذار خواهد بود. دسته‌بندی سرویس‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. در [۱۸] نحوه مناسبی برای مدل‌سازی ریاضی سرویس‌ها ارائه شده است. در این مقاله مدل ریاضی مذکور به شکل مناسبی برای تعریف هر کدام از سرویس‌های عامل‌ها استفاده و تعمیم داده شده است:

جدول ۱: دسته‌بندی سرویس‌ها بر اساس شرکت‌پذیری در برنامه مدیریت

پارامتری	قابل انتقال وقفه پذیر	قابل انتقال یک پارچه	بارهای قابل مدیریت
			لباس شویی
			خشک کن
			ماشین ظرف‌شویی
			پمپ استخر
			HVAC
			آب گرمکن
			یخچال
			فریزر

#### • سرویس قابل انتقال وقفه پذیر

این سرویس برای عامل  $i$  ام متشکل است از

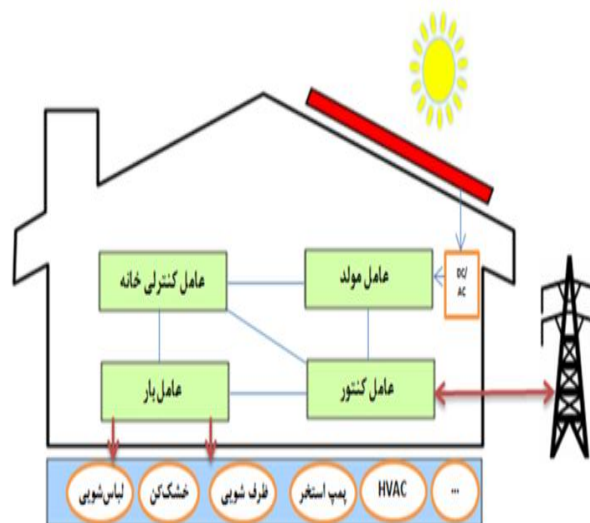
$$W_i, d_i, t_i^s, t_i^f \quad (1)$$

$$P_i(t) = \{0, W_i\}, t \in R_i = [t_i^s, \dots, t_i^f]$$

عملکردهای کنترلی خانه هوشمند به طور معمول لازم است بدون وجود کنترلر مرکزی در بین دستگاه‌های مختلف توزیع شود. عدم قطعیت در رفتار ساکنین، تغییرات ناگهانی شرایط محیطی نظیر آب و هوا، انعطاف‌پذیری و توسعه‌پذیری، اضافه شدن سرویس‌ها و دستگاه‌های جدید از جمله ویژگی‌های حتمی در این محیط است. از این رو طراحی مبتنی بر عامل و به کارگیری ویژگی‌های آن نسبت به سایر روش‌ها ارجحیت دارد. در این مقاله خانه هوشمند با رویکردی چندعامله مدل‌سازی و شبیه‌سازی شده است. در مدل ارائه شده، تجهیزات هوشمند، منابع انرژی پراکنده، کنترلر هوشمند و سیستم مدیریت انرژی پیش‌بینی شده‌اند. سپس با استفاده از این مدل و بر پایه توانایی اجتماعی و ارتباطی سیستم چندعامله یک روش دو مرحله‌ای برای زمانبندی بارها و کاهش هزینه‌ها با در نظر گرفتن راحتی کاربر ارائه شده است.

### ۳-۱- خانه هوشمند مبتنی بر سیستم چندعامله

اجزای اصلی خانه هوشمند شامل تجهیزات هوشمند (مصرف‌کننده)، کنترلر هوشمند، منابع تولید پراکنده و یک سیستم مدیریت منابع انرژی است. این اجزا در یک محیط شبکه شده باید با هم در ارتباط باشند و از طریق تعامل با یکدیگر جهت برآورده شدن اهداف مدیریت انرژی همکاری کنند. با توجه به این مسئله چهار دسته عامل برای مدل‌سازی خانه هوشمند ارائه شده است: عامل بار (تجهیزات هوشمند)، مولد (تولیدات پراکنده)، کنترلر هوشمند و عامل کنترلی خانه. در شکل ۱ مدل ارائه شده برای شبیه‌سازی خانه هوشمند نشان داده شده است. در ادامه این بخش هر کدام از این عامل‌ها بررسی می‌شوند.



شکل ۱: مدل چند عامله خانه هوشمند.

که  $W_i$  میزان توان مصرفی (به kW)،  $d_i$  طول اجرا،  $t_i^f$  زودترین زمان شروع و  $t_i^s$  آخرین مهلت اتمام و  $R_i$  محدوده زمانی مجاز برای اجرای سرویس نام است.  $P_i(t)$  نشان دهنده میزان مصرف سرویس در زمان  $t$  (فعال  $W_i=$ ، غیرفعال  $= 0$ ) است. با این شرط که:

$$\begin{aligned} \text{I. } & t_i^s, t_i^f \in T, d_i \in \{1, 2, \dots, |T|\} \\ \text{II. } & t_i^f - t_i^s + 1 \geq d_i \\ \text{III. } & \sum_{t \in R_i} P_i(t) = d_i * W_i \\ \text{IV. } & \sum_{t \notin R_i} P_i(t) = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$T = \{1 \dots N\}$  تعداد شکاف‌های زمانی در یک روز است. محدودیت  $\Pi$  حداقل طول بازه اجرای سرویس و محدودیت III میزان توان مصرفی سرویس را نشان می‌دهد. همچنین این سرویس نباید در خارج از محدوده تعیین شده اجرا شود (IV).

### • سرویس قابل انتقال تجزیه ناپذیر

تعریف این سرویس دقیقاً همانند سرویس قبل به همراه یک محدودیت اضافی برای اطمینان از اجرای یکپارچه سرویس است. محدودیت مورد نظر به این ترتیب تعیین می‌شود:

$$\sum_{t=t^*}^{t^*+d_i} P(t) = d_i * W_i \quad \forall t^* \in [t_i^s, \dots, t_i^f - d_i] \quad (3)$$

که  $t^*$  زمان آغاز به کار سرویس است و سرویس لازم است به اندازه  $d_i$  اجرا شود.

### • سرویس‌های قابل برنامه‌ریزی

این نوع سرویس را برای سرویس‌های گرمایشی/سرمایشی می‌توان تعریف کرد. این سرویس برای عامل ژام متشکل است از:

$$\begin{aligned} t_j^s, t_j^f, \quad \tau_j \pm \delta, S_j, \quad \tau = [\tau_j^s, \dots, \tau_j^f] \\ f_j(\tau_j) = [0, 1], \quad t \in R_j = [t_j^s, \dots, t_j^f] \end{aligned} \quad (4)$$

که همانند قبل  $t_j^s$  و  $t_j^f$  حد بالا و پایین محدوده زمانی،  $\tau_j^*$  دمای مطلوب کاربر برای سرویس ژام و  $\delta$  اختلاف دمای قابل قبول و  $\tau$  بردار دماهای مشخص شده برای هر زمان بر حسب درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد.  $S_j$  حداقل میزان مطلوبیت خواسته شده کاربر و  $f_j(\tau^t)$  میزان رضایت مندی برای دمای  $\tau$  در زمان  $t$  ام را نشان می‌دهد. با این شرایط که:

$$\begin{aligned} \text{I. } & P_j(t) \in [0, W_{max}] \\ \text{II. } & \frac{1}{|R_j|} \sum_{t \in R_j} f_j(\tau_j^t) \geq S_j \\ \text{III. } & P_j(t) = 0, \quad \forall t \notin R_j \end{aligned} \quad (5)$$

محدودیت I میزان توان مصرفی سرویس ژام در زمان  $t$  را بر حسب kW نشان می‌دهد.  $\Pi$  رضایت خواسته شده کاربر،  $S_j$  را اعمال می‌کند. برای ساعت‌های خارج از محدوده سرویس توان مصرفی برابر با صفر خواهد بود (III).

### • سرویس‌های پایه

نمایش این نوع سرویس به سادگی متشکل است از

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_N], N = |T| \quad (6)$$

که  $w_i \in \mathcal{R}^+$  مقدار توان مصرفی بر حسب kW را در زمان  $t$  نشان می‌دهد.

### ۳.۱.۲. عامل مولد

در خانه هوشمند منابع تجدیدپذیر (از جمله توربین بادی، سلول خورشیدی) و نیز ذخیره‌کننده می‌تواند مورد بهره‌برداری قرار گیرد. در این مقاله یک سلول خورشیدی بهره‌مند از قابلیت ردیابی نقطه با حداکثر توان (MPPT) استفاده شده است. با استفاده از MPPT اطمینان حاصل میشود که برای همه تابش‌ها و دماها PV حداکثر توان خروجی را ارائه می‌دهد. حداکثر توان تولیدی این سرویس، یعنی  $P_{Max}^M$  برای هر مقدار تابش  $G_a$  و دمایی  $T_a$  می‌تواند از طریق رابطه زیر به دست آید:

$$P_{Max}^M = \frac{G_a}{G_{a,0}} \left[ \left[ P_{Max}^M + \mu_{P_{max}}(T) \right]_a + G_a \frac{NOCT - 20}{800} T_{M,0} \right] \quad (7)$$

که در آن،  $G_{a,0}$  میزان تابش،  $P_{Max,0}^M$  حداکثر توان،  $T_{m,0}$  حرارت سطح ماژول در وضعیت استاندارد و  $NOCT$  دمای عملکرد نرمال سلول‌های PV را نشان می‌دهد [۱۹].

### ۳.۱.۳. عامل کنترلر هوشمند

کنترلر هوشمند یکی از مهم‌ترین تجهیزات خانه هوشمند و پل ارتباطی بین شبکه و سیستم مدیریت خانه است. این عامل اطلاعات پروفایل قیمت را در هر سیکل در اختیار قرار می‌دهد. برای پروفایل قیمت از مدل سه زمانه شبکه داخلی و یا قیمت-های زمان واقعی که برای ۲۴ ساعت طول روز می‌تواند در دسترس قرار گیرد استفاده می‌شود.

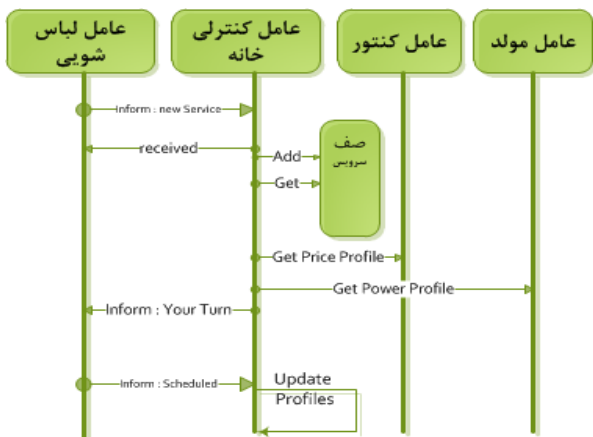
### ۳.۱.۴. عامل کنترلی خانه

به منظور اعمال سیاست‌های مدیریت انرژی، ایجاد هماهنگی و همکاری بین عامل‌ها برای مصرف منابع و بهینه‌تر کردن تصمیم‌گیری‌ها می‌توان عامل‌های کنترلی خاصی را در نظر

گرفت. در این مقاله عامل کنترلی خانه برای این منظور در نظر گرفته شده است. در نظر گرفتن اولویت برای زمان بندی بارها، مدیریت پروفایل های تولید، مصرف و قیمت و شناسایی و بهینه کردن تصمیمات سایر عامل ها از جمله توانایی های در نظر گرفته شده برای این عامل است.

### ۳-۲- راهبرد مدیریت انرژی چندعامله

مسئله مدیریت انرژی در خانه هوشمند را می توان با تقسیم آن به زیر مسائل کوچکتر و حل هر زیر مسئله توسط عامل های مستقل به صورت توزیع شده انجام داد. در واقع در بیشتر حالات افراد برای انجام سرویس های درخواستی خود بازه زمانی مشخصی در نظر می گیرند و فضای مسئله به زمان بندی سرویس در آن بازه کاهش می یابد. اما از یک دید بالاتر ممکن است بازه های زمانی چند سرویس مختلف همپوشانی داشته باشند. در این صورت زمان بندی این سرویس ها با هم ادغام شده و یک مسئله زمان بندی بر روی اجتماع بازه های زمانی آنها به وجود می آید. با این دید، در این مقاله یک راهبرد دو سطحی برای بهینه سازی مصرف انرژی در خانه هوشمند چندعامله ارائه شده است که در ادامه معرفی می شود.



شکل ۲: نمودار توالی، رفتار عامل ها برای برنامه ریزی در سطح اول کنترل

### ۳.۲.۲. کنترل سطح دوم

در صورت همپوشانی زمانی سرویس ها تضمینی برای بهینه بودن برنامه ریزی سطح اول آنها به صورت مستقل وجود ندارد. به همین دلیل عامل کنترلر خانه، سرویس هایی با بازه های همپوشان را گروه بندی می کند. در این مرحله هر گروه یک زیرمسئله از فرایند برنامه ریزی بارها را تشکیل می دهد. برای زمان بندی بهینه هر کدام از این گروه ها از روش برنامه ریزی صحیح استفاده می شود.

عموما برای حل مسائل برنامه ریزی صحیح از روش شاخه و حد استفاده می شود. در این کار یک نسخه ارتقاء داده شده از این الگوریتم با استفاده از رویکردی ابتکاری برای بهبود هرس کردن و کاهش فضای مسئله استفاده شده است. در هر سطح از درخت، برای بسط دادن گره بعدی از بین گره های بسط داده نشده، گره ای انتخاب می شود که کمترین مقدار برای تابع زیر را به دست دهد:

$$F(v) = C(v) + H(v) \quad (9)$$

که  $F$  هزینه هر گره  $v$  تا رسیدن به یک راه حل کامل (انتخاب زمان شروع برای همه سرویس ها)،  $C$  هزینه انتخاب های انجام شده و تابع  $H$  تخمینی پایین دست از هزینه انتخاب های بعدی است. به این ترتیب در صورت رسیدن به یک راه حل اولیه گره-

### ۳.۲.۱. کنترل سطح اول

در سطح اول هر عامل با تکیه بر خودمختاری و قابلیت تعامل با عامل های دیگر به صورت مستقل سرویس خود را با کمترین هزینه و در نظر گرفتن مطلوبیت ساکنین برنامه ریزی می کند. بسته به نوع سرویس هر عامل تابع بهینه سازی خاص خود را دارد. برای سرویس های قابل انتقال عامل به دنبال یافتن زمان شروعی با کمترین هزینه است. همچنین برای سرویس های پارامتری، عامل (تهویه هوا) تنظیمات دما را با در نظر گرفتن رضایت ساکنین به عنوان یک قید به گونه ای انجام می دهد که هزینه کاهش یابد. بر این اساس عملکرد عامل لباس شویی (که از نوع سرویس قابل انتقال است) برای برنامه ریزی سرویس محوله خود، با هماهنگی و تعامل با سایر عامل ها در نمودار توالی شکل ۲ نشان داده شده است.

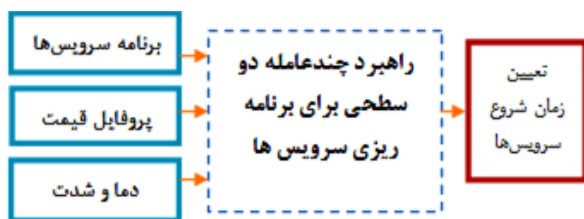
عامل لباس شویی سرویس درخواست شده خود را به اطلاع عامل کنترلی خانه می رساند. عامل کنترلی بر اساس اولویت از پیش تعیین شده، اجازه زمان بندی سرویس را با ارسال اطلاعات انرژی لازم به عامل ها اعلام می کند. با این اطلاعات عامل لباس شویی سرویس خود را با کمترین هزینه، زمان بندی کرده و زمان

#### ۴-۲- مطالعه موردی

به منظور آزمایش و ارزیابی مدل چند عامله پیشنهادی و راهبرد مدیریت انرژی ارائه شده در این مقاله، یک سناریوی کوچک برای اجرا در محیط شبیه‌ساز ارائه می‌شود. شکل ۳ مفروضات و خروجی خواسته شده از برنامه را به صورت خلاصه نشان می‌دهد.

جدول شماره ۲: سرویس‌های زمانی تعریف شده کاربر

عامل	توان (kWh)	مدت اجرا	بازه زمانی	شروع	ترجیحی
لباس شویی	۱,۲	۲	۹-۱۲	۱۰	
ظرف شویی ۱	۱,۵	۱	۱۰-۱۳	۱۲	
خشک کن	۱,۷	۱	۱۱-۱۳	۱۱	
ظرف شویی ۲	۱,۵	۱	۱۷-۲۰	۱۹	
پمپ استخر	۱,۲	{۳و۳}	۷-۱۶	۸	



شکل ۳: پارامترها و خروجی‌های شبیه‌سازی

برنامه سرویس‌های انتقال‌پذیر درخواستی در جدول ۲ به صورت خلاصه نشان داده شده است. اطلاعات آب و هوا و پروفایل قیمت نیز به صورت ساعتی در اختیار عامل‌های سلول خورشیدی و کنترل‌کننده هوشمند قرار می‌گیرد. شکل ۴ پروفایل قیمت و شکل ۵ خروجی توان تولیدی توسط عامل سلول خورشیدی را برای یک شبانه روز نشان می‌دهد.

#### ۴-۳- نتایج شبیه‌سازی

نمودار شکل ۶ نتایج شبیه‌سازی را برای سه رویکرد مختلف برنامه‌ریزی بارها نشان داده است. ستون آبی نشان دهنده برنامه‌ریزی بر اساس ساعات ترجیحی و پیش‌فرض خانوار برای اجرای سرویس‌هاست که در سناریوی مفروض هزینه اجرای سرویس‌ها ۲۴۱۲,۵ ریال بوده است. مشاهده می‌شود که کنترل سطح اول نتیجه بهتری را نسبت به برنامه‌ریزی پیش‌فرض کاربر دارد. عامل‌ها در این سطح به صورت مستقل زمان‌بندی را انجام می‌دهند که منجر به کاهش ۲۵٪ هزینه (هزینه اجرای = ۱۸۰۵ ریال) شده است. همچنین همانطور که مورد انتظار است کنترل سطح

های بعدی تنها در صورتی بسط داده می‌شوند که مقدار  $F$  برای آنها کمتر از هزینه به دست آمده فعلی باشد. در نتیجه فضای جستجو به خوبی هرس شده و کاهش می‌یابد. در شبه کد شکل ۳ روال کلی نشان داده شده است.

#### Procedure solving sub-problem of service scheduling

- **Inputs**
- *sub-problem graph,  $h$  a heuristic function*
- $bound_0 = \infty$
- **Output**
- a solution with minimized cost
- **Local**
- *best\_path*: path or  $\perp$
- *bound*: non-negative real
- **Procedure HB&BSearch**( $\langle s_0, \dots, s_k \rangle$ )
- **if** ( $cost(\langle s_0, \dots, s_k \rangle) + h(s_k) < bound$ ) **then**
- **if** ( $goal(s_k)$ ) **then**
- $best\_path \leftarrow \langle s_0, \dots, s_k \rangle$
- $bound \leftarrow cost(\langle s_0, \dots, s_k \rangle)$
- **else**
- **select next node with minimum  $F$  (cost) from  $s_k$  to  $s_n$**
- **HB&BSearch** ( $\langle s_0, \dots, s_k, s \rangle$ )
- $best\_path \leftarrow \perp$
- $bound \leftarrow bound_0$
- **HB&BSearch** ( $\langle s \rangle$ )
- **return** *best\_path*

شکل ۳: الگوریتم شاخه و حد با تابع ابتکاری برای زمان‌بندی بهینه بارها

#### ۴-۴- شبیه‌سازی و نتایج

بر اساس مدل چند عامله ارائه شده یک ابزار شبیه‌سازی توسعه و فراهم شده است. در این بخش محیط توسعه ابزار شبیه‌سازی و یک سناریو برای بررسی نتایج حاصل از عملکرد آن شرح داده می‌شود.

#### ۴-۱- محیط شبیه‌سازی

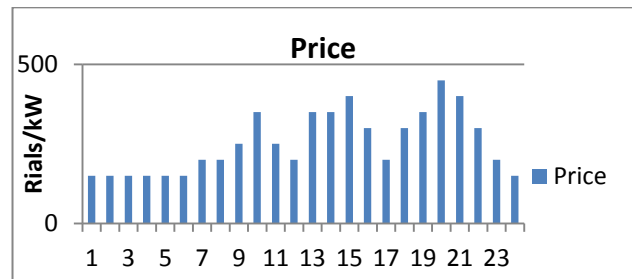
برای پیاده‌سازی سیستم چندعامله خانه هوشمند، محیط توسعه عامل مبتنی بر جاوا (JADE) انتخاب شد. در کاربرد خانه هوشمند استفاده از محیطی که از استاندارد بنیاد عامل‌های هوشمند فیزیکی (FIPA) پیروی کند، برای دستیابی به قابلیت همکاری بین تجهیزات مختلف ضروری می‌نماید. در واقع وجود یک استاندارد ارتباطی برای تعامل تجهیزات هوشمند که می‌توانند محصول سازندگان مختلف باشند، مورد نیاز است. JADE یک زیرساخت مناسب برای ارتباط عامل‌ها در یک محیط توزیع شده بر اساس استاندارد FIPA فراهم می‌کند. برای ارسال و دریافت پیام بین عامل‌ها در این برنامه از زبان ارتباطی عامل (ACL) استفاده شده است.

به خوبی نمایش می دهد. بر پایه این مدل و شبیه ساز آماده شده در آینده با کمک روش‌های مذاکره یک راهبرد کاملا توزیع شده ارائه خواهد شد.

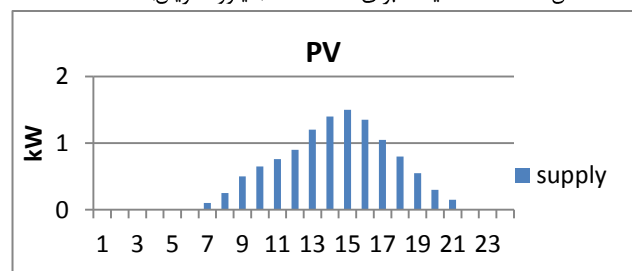
## مراجع

- [1] E. Santacana, G. Rackliffe, L. Tang, and X. Feng, "Getting smart," Power and Energy Magazine, IEEE, vol. 8, pp. 41-48, 2010.
- [2] K. Kok, S. Karnouskos, D. Nestle, A. Dimeas, A. Weidlich, C. Warmer, P. Strauss, B. Buchholz, S. Drenkard, and N. Hatzigiorgiou, "Smart houses for a smart grid," 2009, pp. 1-4.
- [3] D. Rathnayaka, V. Potdar, and S. Kuruppu, "Energy resource management in smart home: state of the art and challenges ahead," in Proceedings of the 3rd International Conference on Sustainability in Energy and Buildings (SEB), Marseilles, France: Springer., 2011, pp. 403-411.
- [4] M. Wooldridge, An introduction to multiagent systems: Wiley, 2002.
- [5] D. J. Cook, M. Youngblood, E. O. Heierman III, K. Gopalratnam, S. Rao, A. Litvin, and F. Khawaja, "MavHome: An agent-based smart home," in First IEEE Int. Conf. on Pervasive Computing and Communications, 2003, pp. 521-524.
- [6] G. Conte, G. Morganti, A. M. Perdon, and D. Scaradozzi, "Multi-agent system theory for resource management in home automation systems," Journal of Physical Agents, vol. 3, pp. 15-19, 2009.
- [7] G. Morganti, A. Perdon, G. Conte, and D. Scaradozzi, "Multi-agent system theory for modelling a home automation system," Bio-Inspired Systems: Computational and Ambient Intelligence, pp. 585-593, 2009.
- [8] S. Abras, S. Pesty, S. Ploix, and M. Jacomino, "Advantages of MAS for the resolution of a power management problem in smart homes," Advances in Practical Applications of Agents and Multiagent Systems, vol. 70, pp. 269-278, 2010.
- [9] J. Kwak, P. Varakantham, M. Tambe, L. Klein, F. Jazizadeh, G. Kavulya, B. B. Gerber, and D. J. Gerber, "Towards optimal planning for distributed coordination under uncertainty in energy domains," 2011.
- [10] Y. Gao, E. Tumwesigye, B. Cahill, and K. Menzel, "Using data mining in optimisation of building energy consumption and thermal comfort management," in International Conference on Software Engineering and Data Mining (SEDM), , 2010, pp. 434-439.
- [11] Q. Khalid and R. Langhe, "Evaluation and monitoring of energy consumption patterns using statistical modeling and simulation," in 6th International Conference on Emerging Technologies (ICET), 2010, pp. 124-127.
- [12] C. Y. Chen, Y. P. Tsoul, S. C. Liao, and C. T. Lin, "Implementing the design of smart home and achieving energy conservation," 2009, pp. 273-276.
- [13] M. Grassi, M. Nucci, and F. Piazza, "Towards an ontology framework for intelligent smart home management and energy saving," 2011, pp. 1753-1758.
- [14] K. I. Benta, A. Hoszu, L. Văcariu, and O. Creț, "Agent based smart house platform with affective control," in Proc. Euro American Conference on Telematics and Information Systems, New York, NY, USA, 2009, pp. 1-7.
- [15] M. A. A. Pedrasa, T. D. Spooner, and I. F. MacGill, "Coordinated scheduling of residential distributed energy resources to optimize smart home energy services," Smart Grid, IEEE Transactions on, vol. 1, pp. 134-143, 2010.
- [16] Y. K. Penya, "Last-generation applied artificial intelligence for energy management in building automation," in Proceedings of the 5th IFAC International Conference on Fieldbus Systems and their Application, 2003, pp. 79-83.
- [17] L. D. Ha, S. Ploix, E. Zamai, and M. Jacomino, "Tabu search for the optimization of household energy consumption," 2006, pp. 86-92.
- [18] M. Vasirani and S. Ossowski, "A Collaborative Model for Participatory Load Management in the Smart Grid," 2012, p. 21.
- T. Logenthiran and D. Srinivasan, "Short term generation scheduling of a microgrid," 2009, pp. 1-6.

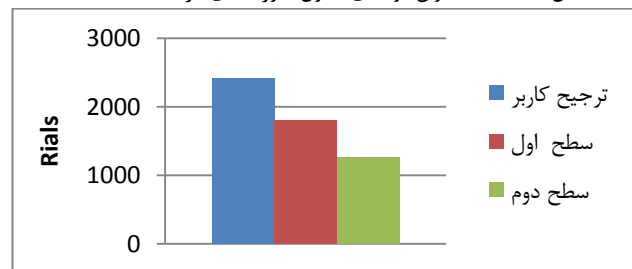
دوم بهتر از سطح اول عمل کرده و هزینه اجرای سرویس‌ها را به میزان ۴۸٪ نسبت به زمان‌بندی ترجیحی کاربر ( هزینه اجرا = ۱۲۶۵) کاهش داده است. در واقع در این سطح سرویس‌های عامل‌هایی که همپوشانی دارند توسط عامل کنترلی خانه به صورت بهینه برنامه‌ریزی می شوند.



شکل ۴: اطلاعات قیمت برای ۲۴ ساعت (کیلووات/ریال)



شکل ۵: اطلاعات توان تولیدی سلول خورشیدی در ۲۴ ساعت



شکل ۶: نتیجه اجرای الگوریتم، هزینه اجرای سرویس‌ها در هر یک از راهبردها

## ۵- نتیجه‌گیری و کارهای آینده

در این مقاله یک راهبرد چندعامله برای مدیریت انرژی در خانه هوشمند ارائه شد. نشان داده شد که بر اساس قابلیت‌های همکاری بین عامل‌های هوشمند می‌توان فضای مسئله را به زیر-مسائل کوچک‌تر و مستقل تقسیم و پیچیدگی‌های آن را کاهش داد. به این ترتیب با تکیه بر استقلال، همکاری و هماهنگی عامل‌ها در فضای پیچیده، پویا و غیرقطعی خانه هوشمند، راهبردی توزیع شده برای مدیریت پویا و خودکار مصرف انرژی فراهم می‌شود. برای پیاده‌سازی مدل ارائه شده از محیط توسعه عامل مبتنی بر جاوا (JADE) استفاده شده است. نتایج شبیه-سازی به کمک این ابزار کارایی راهبرد مدیریت انرژی و حاصل شدن راه‌حلی تقریباً بهینه (کاهش ۴۸٪ در سناریوی مفروض) را