

مدل سازی و شبیه سازی یک راهبرد پویای مدیریت انرژی مبتنی بر عامل های هوشمند

سیروان پرسته^۱، ناصر مزینی^۲، عادل ترکمان رحمانی^۳

^۱دانشگاه علم و صنعت ایران، sirvan_paraste@comp.iust.ac.ir

^۲دانشگاه علم و صنعت ایران ، mozayani@iust.ac.ir

^۳دانشگاه علم و صنعت ایران ، rahmani@iust.ac.ir

چکیده - خانه هوشمند و مدیریت انرژی یکی از چالش های مورد توجه در حوزه شبکه هوشمند برق است. توسعه شبکه های ارتباطی و استفاده از تجهیزات هوشمند و همچنین گسترش استفاده از منابع تجدیدپذیر، امکان ارائه راهبردهای هوشمند مدیریت انرژی را فراهم می کند. 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 کنتور و عامل کنترلی خانه. همچنین برای مدیریت هوشمند انرژی به صورت چندعامله، یک راهبرد پویای 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. همچنین در واکنش به تغییرات محیطی و تغییر قیمت های لحظه ای انرژی، عامل ها به صورت پویا واکنش نشان داده و مجدداً به زمان بندی سرویس های خود اقدام 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

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 [۲،۳].

در این مقاله یک مدل چندعامله برای مدیریت انرژی در خانه های هوشمند ارائه و پیاده سازی شده است. سیستم چندعامله 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

۱- مقدمه

بخش عمده ای تقاضای برق در نواحی خانگی ایجاد می شود. با توسعه شبکه هوشمند و زیرساخت اندازه گیری پیشرفته (AMI)، امکان پویا ساختن نقش مصرف کننده خانگی در روش های مدیریت سمت تقاضا فراهم می شود [۱]. 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 آب و هوا، عدم قطعیت در رفتار

کارهای انجام شده در این حوزه بر روی مدل سازی تجهیزات هوشمند و رفتار ساکنین و نیز ارائه روش های بهینه سازی مصرف انرژی تمرکز داشته اند. پروژه MavHome یک سیستم چندعامله با قابلیت یادگیری رفتار ساکنین ارائه کرده است [۵]. تعامل و همکاری عامل ها برای به اشتراک گذاری منابع به صورت همکارانه در [۶] نشان داده شده است. برخی نویسندگان راه حل هایی ترکیبی متمرکز و توزیع شده با تکیه بر عامل هایی با قابلیت های متفاوت ارائه داده اند. در [۷] یک راه حل مبتنی بر تئوری بازی در بازه های همکارانه برای کنترل متمرکز و عامل هایی با توانایی تحلیل اطلاعات و مدیریت رفتارهایشان در یک ساختار چند سطحی برای کنترل توزیع شده استفاده شده است. به همین شکل در [۸] یک روش واکنشی برای پاسخ به وقایع پیش بینی نشده در نظر گرفته شده است و سرویس های مربوط به عامل های پیش بینی پذیر به صورت متمرکز زمان بندی شده و به آنها اطلاع داده می شود. با تاکید بر همکاری و هماهنگی در سیستم های چندعامله در [۹] تلاش شده است با مدل کردن عدم قطعیت، مدیریت مصرف انرژی در سیستم تهویه و روشنایی یک ساختمان آموزشی به صورت بهینه تری ارائه شود. در کنار رویکردهای چندعامله بر روی سیستم های نظارت، جمع آوری و تحلیل اطلاعات، در حوزه مدیریت انرژی خانه هوشمند نیز کار شده است [۱۰، ۱۱]. ارائه راهبردهای ارتباطی تجهیزات هوشمند [۱۲] و توسعه چهارچوب های هسته شناسی [۱۳] نیز از جنبه های مهم مدیریت انرژی در خانه هوشمند است که به منظور پیاده سازی واقعی سیستم ها از اهمیت زیادی برخوردارند. [۱۴] یک سیستم چندعامله به همراه یک نگاشت هسته شناسی از محیط ارائه داده است. در این کار بر پایش محیط و ره گیری ساکنین و رفتار آن ها تمرکز شده است. از سویی برخی از کارها به صورت متمرکز از الگوریتم های بهینه سازی هوش مصنوعی برای مدیریت انرژی و کاهش هزینه ها استفاده کرده اند. در [۱۵] یک سازوکار زمان بندی با بهره گیری از الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات (PSO) ارتقاء یافته، برای یافتن پاسخی تقریباً بهینه در زمانی مناسب ارائه شده است.

در این مقاله با در نظر گرفتن ویژگی ها و مزایای کارهای قبلی سعی شده است یک مدل جامع با استفاده از دسته بندی و

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 همکاری بین عامل های مختلف را به وجود می آورد [۴].

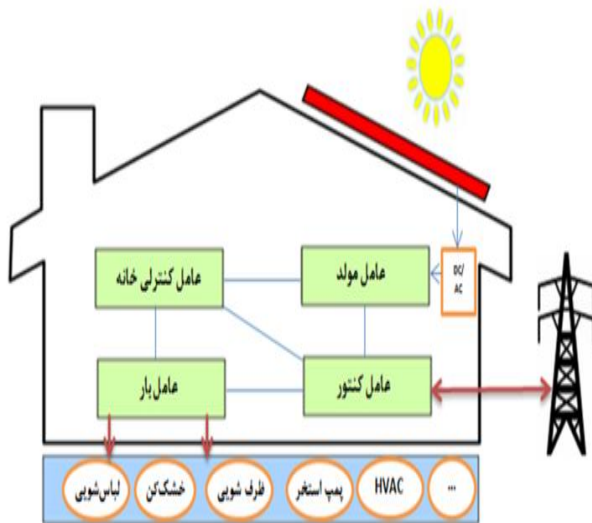
برای مدل سازی چندعامله خانه هوشمند در این مقاله، چهار نوع عامل تعریف شده اند: عامل بار، عامل مولد، عامل کنترل و عامل کنترلی خانه. عامل های تجهیزات هوشمند از نوع عامل بار و عامل های تولیدات پراکنده از نوع عامل مولد هستند. عامل کنترل هوشمند به عنوان پل ارتباطی بین شبکه و خانه هوشمند و عامل کنترلی خانه نیز راهبردها و سیاست های مدیریت انرژی از جمله اولویت گذاری بارها و هماهنگی بین عامل های مختلف را برعهده دارد. یک محیط شبیه سازی بر اساس این مدل در محیط توسعه عامل مبتنی بر جاوا (JADE) پیاده سازی شده است. همچنین با تکیه بر قابلیت های مدل ارائه شده، یک راهبرد دو سطحی برای بهینه سازی مصرف انرژی در خانه هوشمند پیاده سازی شده است. در سطح اول عامل ها با تکیه بر استقلال و قابلیت ارتباطی خود سعی در کمینه کردن هزینه انجام سرویس محوله شان دارند. در سطح بالاتر عامل هایی که سرویس های آنها همپوشانی دارند، برای دستیابی به راه حل بهینه تر به صورت گروهی زمان بندی می شوند. 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 می شود. بخش ۳ مدل پیشنهادی و راهبرد مدیریت انرژی به تفصیل آورده می شود و بخش ۴ به بررسی پیاده سازی و شبیه سازی مدل و نتایج بدست آمده می پردازد. در نهایت در بخش ۵ نتیجه گیری و کارهای آتی آورده می شود.

۲- کارهای انجام شده

اهمیت فراوان مدیریت منابع انرژی در نواحی خانگی و امیدبخش بودن آن با حضور خانه هوشمند را می توان در تلاش های گسترده محققین این حوزه مشاهده نمود. بیشتر

این مسئله چهار دسته عامل برای مدل سازی خانه هوشمند ارائه شده است: عامل بار (تجهیزات هوشمند)، مولد (تولیدات پراکنده)، کنترلور هوشمند و عامل کنترلی خانه. در شکل ۱ مدل ارائه شده برای شبیه سازی خانه هوشمند نشان داده شده است. در ادامه این بخش هر کدام از این عامل ها بررسی می شوند.



شکل ۱: مدل چند عامله خانه هوشمند.

۱،۱،۳. عامل بار

عامل های کنترلی تجهیزات هوشمند در این دسته قرار می گیرند. هر کدام از این عامل ها یک سرویس انرژی مرتبط با خود را به گونه ای برنامه ریزی می کند که هزینه تمام شده در بازه تعیین شده اجرای سرویس کمینه شود. سرویس های موجود در خانه هوشمند را از نظر توانایی شرکت در برنامه های مدیریت انرژی می توان به دو دسته تقسیم بندی کرد. سرویس های انتقال پذیر که زمان سرویس آن ها را می توان به ساعاتی دیگر انتقال داد و بارهایی که قابل انتقال نیستند. از طرفی سرویس های قابل انتقال خود به دو دسته وقفه پذیر و یا تجزیه ناپذیر تقسیم می شوند. اگر یک سرویس را در حین اجرا بتوان وقفه داد و ادامه آن را به زمان دیگری موکول کرد، آن سرویس وقفه پذیر بوده و در غیر این صورت سرویس تجزیه ناپذیر است. سرویس های غیر قابل انتقال نیز به دو دسته تقسیم می شوند. سرویس های پارامتری که میزان توان مصرفی آنها در طول اجرای سرویس

مدل سازی واقعی تر از تجهیزات خانگی و منابع انرژی پراکنده ارائه شود. بر پایه ارتباط و هماهنگی میان عامل ها و با استفاده از الگوریتم های هوش مصنوعی سعی شده است راهبردی برای مدیریت و بهینه سازی مصرف انرژی با تقسیم فضای مسئله به مسائل کوچک تر 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 عملکردهای کنترلی خانه هوشمند به طور معمول لازم است بدون وجود کنترلر مرکزی در بین دستگاه های مختلف توزیع شود. عدم قطعیت در رفتار ساکنین، تغییرات ناگهانی شرایط محیطی نظیر آب و هوا، انعطاف پذیری و توسعه پذیری، اضافه شدن سرویس ها و دستگاه های جدید از جمله ویژگی های حتمی در این محیط است. از این رو طراحی مبتنی بر عامل و به کارگیری ویژگی های آن نسبت به سایر روش ها ارجحیت دارد. در این مقاله خانه هوشمند با رویکردی چندعامله مدل سازی و شبیه سازی شده است. در مدل ارائه شده، تجهیزات هوشمند، منابع انرژی پراکنده، کنترلور هوشمند و سیستم مدیریت انرژی پیش بینی شده اند. سپس با استفاده از این مدل و بر پایه توانایی اجتماعی و ارتباطی سیستم چندعامله یک روش دو مرحله ای برای زمان بندی سرویس ها و کاهش هزینه ها با در نظر گرفتن راحتی کاربر ارائه شده است. عامل های هوشمند در واکنش به تغییرات محیطی واکنش نشان می دهند. با تکیه بر این ویژگی، زمان بندی سرویس ها به صورت پویا انجام می پذیرد.

۳-۱- خانه هوشمند مبتنی بر سیستم چندعامله

اجزای اصلی خانه هوشمند شامل تجهیزات هوشمند (مصرف کننده)، کنترلور 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

$T = \{1 \dots N\}$ تعداد شکاف های زمانی در یک روز است. محدودیت II حداقل طول بازه اجرای سرویس و محدودیت III میزان توان مصرفی سرویس را نشان می دهد. همچنین این سرویس نباید در خارج از محدوده تعیین شده اجرا شود (IV). محدودیت V برای اطمینان از اجرای یکپارچه در سرویس های تجزیه ناپذیر است که t^* زمان آغاز به کار سرویس است و سرویس لازم است به اندازه d_i اجرا شود.

۳.۱.۲. عامل مولد

در خانه هوشمند منابع تجدیدپذیر (از جمله توربین بادی، سلول خورشیدی) و نیز ذخیره کننده می تواند مورد بهره برداری قرار گیرد. در این مقاله یک سلول خورشیدی بهره مند از قابلیت ردیابی نقطه با حداکثر توان (MPPT) استفاده شده است. با استفاده از MPPT اطمینان حاصل میشود که برای همه تابش ها و دماها PV حداکثر توان خروجی را ارائه می دهد. حداکثر توان تولیدی این سرویس، یعنی P_{Max}^M برای هر مقدار تابش G_a و دمایی T_a می تواند 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 سلول-های PV را نشان می دهد [۱۷].

۳.۱.۳. عامل کنترلر هوشمند

کنترلر هوشمند یکی از مهم ترین 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 می دهد. برای پروفایل قیمت از مدل سه زمانه شبکه داخلی و یا قیمت های زمان واقعی که برای ۲۴ ساعت طول شبانه روز می تواند در دسترس قرار گیرد استفاده می شود. همچنین سیگنال های کنترلی و تغییرات لحظه ای قیمت انرژی از این طریق دریافت می شود.

قابل تغییر است (بر اساس یک حد آستانه رضایت) و یا سرویس های پایه که در برنامه ریزی کاهش مصرف عموماً شرکت پذیر نیستند، اما داخل کردن داده های آنها برای مدل سازی بهتر تاثیرگذار خواهد بود. دسته بندی سرویس ها در جدول ۱ نشان داده شده است. در [۱۶] نحوه مناسبی برای مدل سازی ریاضی سرویس ها ارائه شده است. در این مقاله مدل ریاضی مذکور به شکل مناسبی برای تعریف سرویس های قابل انتقال عامل ها استفاده و تعمیم داده شده است:

جدول ۱: دسته بندی سرویس ها بر اساس شرکت پذیری در برنامه

مدیریت

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

• سرویس قابل انتقال

این سرویس برای عامل i ام متشکل است از

$$W_i, d_i, t_i^s, t_i^f \quad (8)$$

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

که W_i میزان توان مصرفی (به kW)، d_i طول اجرا، t_i^s زودترین زمان شروع و t_i^f 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:

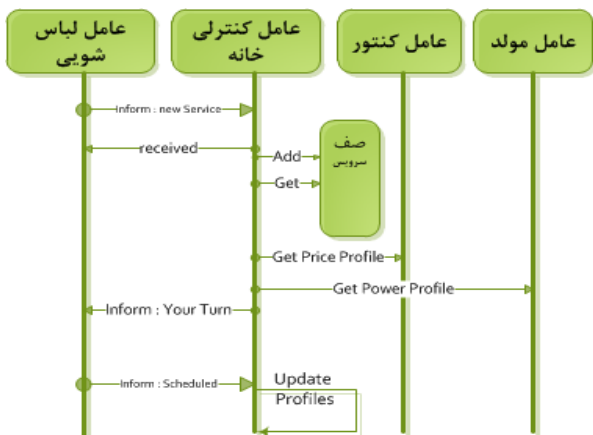
- I. $t_i^s, t_i^f \in T, d_i \in \{1, 2, \dots, |T|\}$ (9)
- II. $t_i^f - t_i^s + 1 \geq d_i$
- III. $\sum_{t \in R_i} P_i(t) = d_i * W_i$
- IV. $\sum_{t \notin R_i} P_i(t) = 0$
- V. $\sum_{t=t^*}^{t^*+d_i} P(t) = d_i * W_i \quad \forall t^* \in [t_i^s, \dots, t_i^f - d_i]$

۳،۱،۴. عامل کنترلی خانه

به منظور اعمال سیاست های مدیریت انرژی، ایجاد هماهنگی و همکاری بین عامل ها برای مصرف منابع و بهینه تر کردن تصمیم گیری ها می توان عامل های 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 پویای 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 هم پوشانی 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 پویای 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

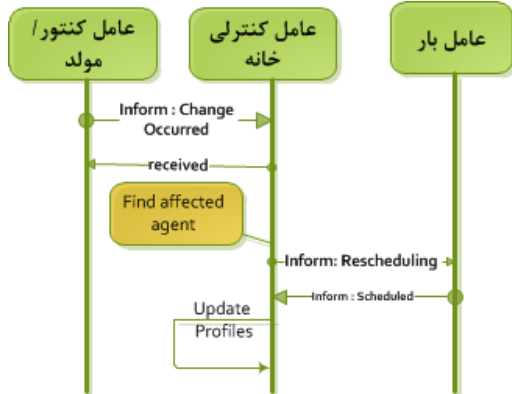
در صورت هم پوشانی زمانی سرویس ها تضمینی برای بهینه بودن برنامه ریزی سطح اول آنها به صورت مستقل وجود ندارد. به همین دلیل عامل کنترلر خانه پس از دریافت نتیجه زمان بندی عامل ها در سطح اول، برای این دسته از سرویس ها متفاوت عمل می کند. در صورتی که زمان انتخابی عامل ها برای اجرای سرویس ها (علاوه بر هم پوشانی بازه اجرا) هم پوشانی داشته باشد، به دلیل محدودیت منابع عامل کنترلی، سرویس های این عامل ها را گروه بندی می کند. در این صورت هر گروه یک زیرمسئله از فرایند برنامه ریزی

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

۳-۳- پویایی راهبرد پیشنهادی

با توجه به تاثیر تغییرات محیطی مثلا کاهش تولید به دلیل تغییرات آب و هوایی و نیز تغییرات قیمت لحظه ای (در شرایط اوج بار) ممکن است هزینه سرویس برخی عامل ها تحت تاثیر قرار بگیرد. از این رو، با توجه به واکنشی بودن عامل ها نسبت به تغییرات محیطی، در صورت مشاهده تغییر در ناحیه زمان بندی سرویس-شان، مجددا برای یافتن راه حل کمینه اقدام به زمان بندی سرویس خود می کنند. با زمان بندی مجدد سرویس ها گروه های عامل های هم پوشان نیز ممکن است تحت تاثیر قرار گیرند. بر این اساس، عامل کنتور یا عامل مولد در صورت مشاهده تغییرات، عامل کنترلی خانه را با خبر می کنند. عامل کنترلی خانه، با به دست آوردن نواحی تغییرات در پروفایل های مربوطه (قیمت/تولید)، عامل هایی را که سرویس هایی برای اجرا در آن نواحی دارند، برای زمان بندی مجدد با خبر می کند. عامل های بار پس از مشاهده تغییرات، مجددا سرویس خود را زمان بندی کرده و زمان شروع سرویس خود را به عامل کنترلی خانه برای به روزرسانی پروفایل ها اطلاع می دهند. نمودار توالی -- زیر این موضوع را نمایش می دهد.



شکل ۲: نمودار توالی، رفتار واکنشی عامل ها به تغییرات محیطی و پویایی زمان بندی

۴- شبیه سازی و نتایج

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

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 های بعدی تنها در صورتی بسط داده می شوند که مقدار F برای آنها کمتر از هزینه به دست آمده فعلی باشد. در نتیجه فضای جستجو به خوبی هرس شده و کاهش می یابد. 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**($\{s_0, \dots, s_k\}$)
- **if** ($cost(\{s_0, \dots, s_k\}) + h(s_k) < bound$) **then**
- **if** ($goal(s_k)$) **then**
- $best_path \leftarrow \{s_0, \dots, s_k\}$
- $bound \leftarrow cost(\{s_0, \dots, s_k\})$
- **else**
- **select next node with minimum F (cost) from s_k to s_n**
- $HB\&BSearch(\{s_0, \dots, s_k, s\})$
- $best_path \leftarrow \perp$
- $bound \leftarrow bound_0$
- $HB\&BSearch(\{s\})$
- **return best_path**

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

۴-۱- محیط شبیه سازی

شکل ۳: پارامترها و خروجی های شبیه سازی برنامه سرویس های انتقال پذیر درخواستی در جدول ۲ به صورت خلاصه نشان داده شده است. اطلاعات آب و هوا و پروفایل قیمت نیز به صورت ساعتی در اختیار عامل های سلول خورشیدی و کنترلر هوشمند قرار می گیرد. شکل ۴ پروفایل قیمت و شکل ۵ خروجی توان تولیدی توسط عامل سلول خورشیدی را برای یک شبانه روز نشان می دهد. همچنین برای نشان دادن واکنش عامل ها به تغییرات محیطی، شدت تابش نور خورشید برای عامل مولد از ساعت ۱۰ تا ۱۷ کاهش داده شده است. این مسئله در پروفایل خروجی توان تولیدی این عامل در شکل ۵ با رنگ قرمز مشاهده می شود.

۴-۳- نتایج شبیه سازی

نمودار شکل ۶ نتایج شبیه سازی را برای سه رویکرد مختلف برنامه ریزی بارها نشان داده است. ستون آبی نشان دهنده برنامه ریزی بر اساس ساعات ترجیحی و پیش فرض افراد خانه برای اجرای سرویس هاست که در سناریوی مفروض هزینه اجرای سرویس ها ۲۲۱۲,۵ ریال بوده است. مشاهده می شود که کنترلر سطح اول نتیجه بهتری را نسبت به برنامه ریزی پیش فرض کاربر دارد. عامل ها در این سطح به صورت مستقل زمان بندی را انجام می دهند که منجر به کاهش ۲۶٪ هزینه (هزینه اجرای = ۱۶۲۲,۵ ریال) شده است. همچنین همانطور که مورد انتظار است کنترلر سطح دوم بهتر از سطح اول عمل کرده و هزینه اجرای سرویس ها را به میزان ۴۲٪ نسبت به زمان بندی ترجیحی کاربر (هزینه اجرا = ۱۲۸۲,۵) کاهش داده است. در واقع در این سطح سرویس های عامل هایی که همپوشانی دارند توسط عامل کنترلر خانه به صورت بهینه برنامه ریزی می شوند. اما همان طور که بیان شد عامل هایی که در محدوده اجرای سرویس خود تغییرات را دریافت کنند، مجدداً زمان بندی سرویس خود را انجام می دهند. در نتیجه می توان انتظار داشت که هزینه ها حداقل کمتر یا برابر با هزینه زمان بندی های قبلی باشد. نتیجه واکنش عامل ها به تغییرات تولید در شکل ۷ نشان داده شده است. همان طور که در شکل پیداست، در زمان بندی مجدد عامل ها هزینه ها را کاهش داده اند. ساعات انتخابی عامل ها در جدول ۲

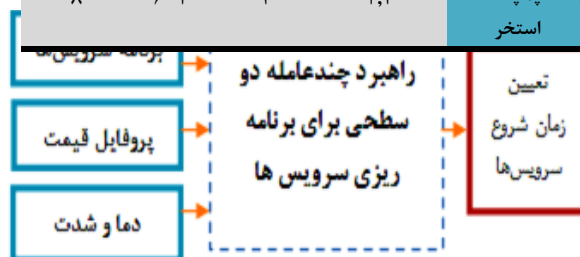
برای پیاده سازی سیستم چندعامله خانه هوشمند، محیط توسعه عامل مبتنی بر جاوا (JADE) انتخاب شد. در کاربرد خانه هوشمند استفاده از محیطی که از استاندارد بنیاد عامل های هوشمند فیزیکی (FIPA) پیروی کند، برای دستیابی به قابلیت همکاری بین تجهیزات مختلف ضروری می نماید. در واقع وجود یک استاندارد ارتباطی برای تعامل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

۴-۲- مطالعه موردی

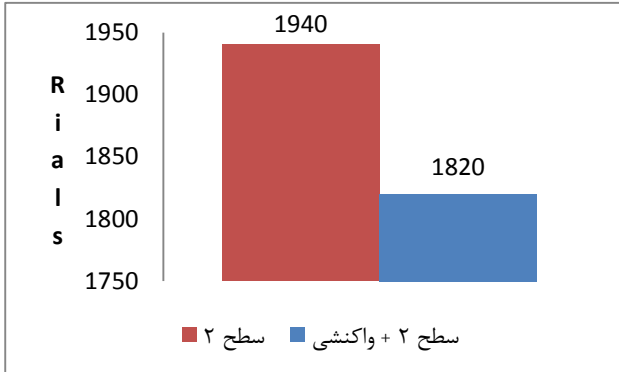
به منظور آزمایش و ارزیابی مدل و راهبرد پویای مدیریت انرژی چند عامله ارائه شده در این مقاله، یک سناریوی کوچک برای اجرا در محیط شبیه ساز ارائه می شود. شکل ۳ مفروضات و خروجی خواسته شده از برنامه را به صورت خلاصه نشان می دهد.

جدول شماره ۲: سرویس های زمانی تعریف شده کاربر

عامل	توان (kWh)	مدت اجرا	بازه زمانی	شروع ترجیحی
۱ لباس شویی	۱,۵	۱	۹-۱۲	۱۰
۲ ظرف شویی ۱	۱,۵	۲	۱۰-۱۴	۱۱
۳ خشک کن	۱,۷	۱	۱۲-۱۴	۱۲
۴ ظرف شویی ۲	۱,۵	۱	۱۷-۲۰	۱۹
۵ پمپ استخر	۱,۲	۳	۶-۱۰	۸



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



شکل ۷: واکنش عامل ها به تغییرات تولید و زمان بندی مجدد

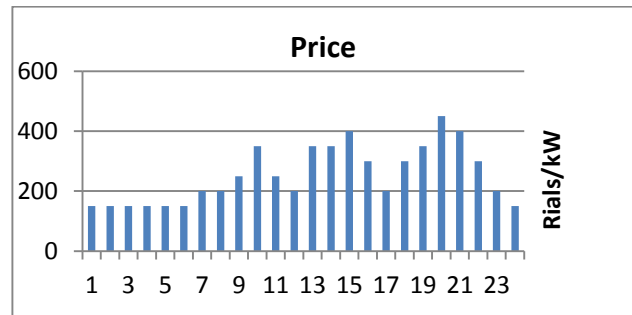
جدول ۲- زمان شروع سرویس ها در دو حالت بررسی شده

شماره سرویس	۱	۲	۳	۴	۵
سطح ۲	۷	۱۰	۱۱	۱۳	۱۷
سطح ۲ + واکنشی	۷	۱۱	۱۰	۱۳	۱۷

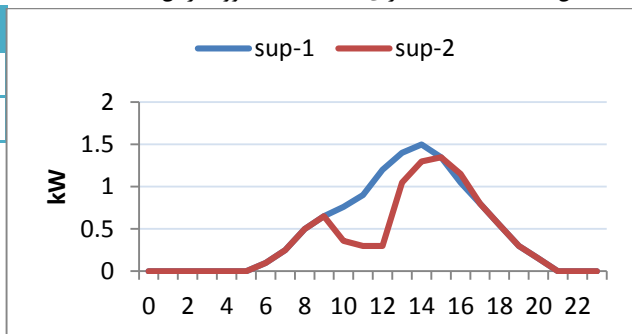
۵- نتیجه گیری و کارهای آینده

در این مقاله یک راهبرد پویای چندعامله برای مدیریت انرژی در خانه هوشمند ارائه شد. نشان داده شد که بر اساس قابلیت های همکاری بین عامل های هوشمند می توان فضای مسئله را به زیر-مسائل کوچک تر و مستقل تقسیم و پیچیدگی های آن را کاهش داد. به این ترتیب با تکیه بر استقلال، همکاری و هماهنگی عامل ها در فضای پیچیده، پویا و غیرقطعی خانه هوشمند، راهبردی توزیع شده برای مدیریت پویا و خودکار مصرف انرژی فراهم می شود. برای پیاده سازی 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 ۴۲٪ در سناریوی مفروض) را به خوبی نمایش می دهد. همچنین نشان داده شد، ویژگی واکنشی بودن عامل ها منجر به حاصل شدن پویایی زمان بندی سرویس ها می شود. بر پایه این مدل و شبیه ساز آماده شده در آینده با کمک روش های مذاکره یک راهبرد کاملاً توزیع شده ارائه خواهد شد.

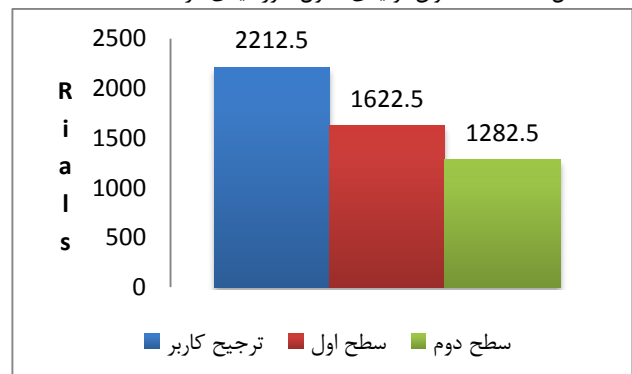
نشان داده شده است. عامل های ۲ و ۳ در شرایط تغییرات قرار گرفته و زمان سرویس های خود را جابجا کرده اند. این جابجایی منجر به کاهش هزینه شده است.



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



شکل ۵: اطلاعات توان تولیدی سلول خورشیدی در ۲۴ ساعت





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] M. Vasirani and S. Ossowski, "A Collaborative Model for Participatory Load Management in the Smart Grid," 2012, p. 21.
- [17] T. Logenthiran and D. Srinivasan, "Short term generation scheduling of a microgrid," 2009, pp. 1-6.