الگوریتمی ترکیبی بر پایه روش‌های هوش محاسباتی جهت مدیریت بلندمدت مصرف برق خانگی با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی

مرتضی رجبی مندی[1] ، محمدابراهیم حاجی‌آبادی[2] ، استادیار و عضو هیئت‌علمی، مجید بقائی نژاد[3] ، استادیار و عضو هیئت‌علمی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه حکیم سبزواری- سبزوار- ایران

m.rajabimendi@hsu.ac.ir, me.hajiabadi@hsu.ac.ir, mbnejad@hsu.ac.ir

چکیده: افزایش مصرف برق و آینده تقاضای آن‌یکی از مسائل اصلی شرکت‌های برق در سراسر جهان است و ایده شبکه هوشمند برق راه‌حلی مناسب برای مواجهه با این مشکل است. شبکه هوشمند با هدف حل مشکلات شبکه‌های قدرت موجود و مدیریت بهتر و کارآمدتر سیستم قدرت مطرح شده است. در این مقاله با استفاده از یک الگوریتم ترکیبی هوشمند مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و الگوریتم PSO روشی برای مدیریت بلندمدت مصرف برق خانگی مناسب جهت پیاده‌سازی در بستر شبکه برق هوشمند برق مطرح گردیده است. هدف اصلی این مقاله ارائه روشی جهت تعیین نقاط مؤثر سرمایه‌گذاری بر روی بهینه‌سازی وسایل خانگی با هدف کاهش مصرف برق بخش خانگی می‌باشد. برای رسیدن به این هدف در گام اول، یک مدل برای میزان بازده لوازم‌خانگی ارائه گردیده است. از این مدل جهت بررسی سرمایه‌گذاری در بهینه‌سازی انواع لوازم‌خانگی و تأثیر آن بر مصرف برق بخش خانگی استفاده می‌شود. در گام دوم، از یک بازی همکارانه با قابلیت انتقال سودمندی برای مدل‌سازی تشکیل ائتلاف روی وسایلی خاص مانند وسایل خانگی اساسی که مشتری تمایل به سرمایه‌گذاری بیشتر روی آن‌ها دارد استفاده شده است که هدف از آن افزایش احتمال حضور این وسایل در برنامه مدیریت مصرف با توجه به منابع مالی اختصاصی می‌باشد. در گام سوم یک سیستم ترکیبی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک چندهدفه و الگوریتم PSO جهت حل مسئله و پیدا کردن نقاط بهینه سرمایه‌گذاری معرفی شده است. شبیه‌سازی‌های انجام‌شده با یک سناریوی مشخص نشان‌دهنده ۴۵/۵۶٪ کاهش برق مصرفی و همچنین کاهش ۸۰/۴۸٪ هزینه تعمیرات ناشی از بهینه‌سازی وسایل منتخب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت مصرف برق، سیاست‌های بلندمدت، بازده، نظریه بازی‌ها، هوش محاسباتی

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۰۱/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله:۱۳۹۵/۰۷/۱۰

نام نویسنده‌ی مسئول: محمدابراهیم حاجی‌آبادی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران- خراسان رضوی- سبزوار- شهرک توحید- دانشگاه حکیم سبزواری- دانشکده برق و کامپیوتر

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-08-26]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.9.1]

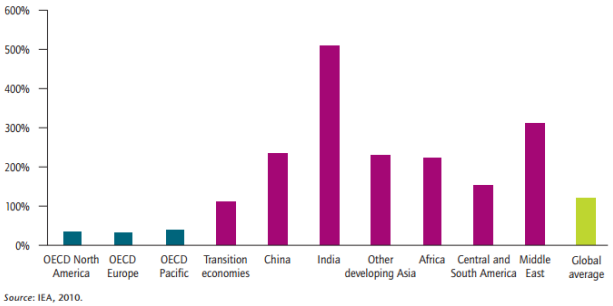
۱- مقدمه

۱-۱- انگیزه تحقیق

امروزه شرکت‌های برق در سراسر جهان با مشکلات بسیاری مواجه هستند که ازجمله آن‌ها می‌توان به تلفات توان سنگین، افزایش تقاضای برق، کمبود سوخت و انرژی و آلاینده‌های زیست‌محیطی اشاره کرد [۱]. افزایش تقاضا برای انرژی الکتریکی باعث شده است که مشکلات جدی برای شرکت‌های برق به وجود آید. با توجه به گزارش وزارت انرژی انگلیس در طول ۲۰ سال گذشته تقاضا و مصرف برق به‌طور مداوم ۲/۵٪ در سال افزایش یافته است [۲]. همچنین گزارش‌ها نشان می‌دهد بیشترین افزایش تقاضای انرژی جهانی در بخش تقاضای برق بوده و همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است. انتظار می‌رود میانگین رشد مصرف جهانی برق در طول سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۵۰ به‌اندازه ۱۱۵٪ افزایش یابد [۳].

این افزایش در تقاضای برق باعث شده است که مسائل تراکم جدی شبکه و چند خاموشی اصلی در سال‌های اخیر به وجود آید و مسئله مدیریت مصرف برق جدی‌تر مطرح گردد. یک مطالعه که توسط گروه "Brattle" انجام شده تخمین می‌زند که کاهش ۵ درصد مصرف در اوج تقاضا در سال می‌تواند ۱۰ بیلیون دلار در سال صرفه‌جویی کند [۴].

در این مقاله نگاهی متفاوت به مسئله مدیریت مصرف شده است طوری که اساساً مسئله مدیریت مصرف برق تنها به کاهش مصرف برق از طریق خروج بارها و یا جابجایی بارها با هدف پیک سایی خلاصه نشود. در این مقاله با دیدی نوآورانه در این مسئله تلاش شده است با تعریف سیاست‌های بلندمدت از طریق سرمایه‌گذاری مؤثر در بهینه‌سازی لوازم‌خانگی، میزان برق مصرفی بخش خانگی کاهش داده شود. ابزار معرفی‌شده نه‌تنها مناسب پیاده‌سازی در بستر شبکه هوشمند برق برای مشتریان خانگی می‌باشد بلکه نتایج این مقاله برای افق دهی سیاست‌گذاری‌های بلندمدت شرکت‌های برق می‌تواند استفاده شود. با استفاده از این روش انتظار می‌رود با شناسایی نقاط مؤثر سرمایه‌گذاری بر روی بهینه‌سازی لوازم‌خانگی میزان کاهش مصرف برق خانگی بیشینه شود.



شکل (۱): پیش‌بینی رشد مصرف انرژی در طی سال‌های ۵۰-۲۰۰۷ [۳]

۱-۲- مروری بر ادبیات موضوع

در سال‌های اخیر تحقیقاتی درزمینه مسئله پاسخ به تقاضا در سیستم قدرت و به‌خصوص در شبکه هوشمند برق انجام شده است. ایده شبکه هوشمند برق با کنتورهای پیشرفته[۱] (AMI) آغاز شد تا بتواند مدیریت سمت تقاضا، افزایش بهره‌وری از انرژی و ایجاد شبکه‌ای باقابلیت پاسخ به خطا و بازیابی را تحقق بخشد [۵]. مقالات متعددی در مورد این کنتورهای پیشرفته نگارش یافته است [۱, ۶-۸]. شبکه هوشمند برق تنها با AMI پایان نمی‌پذیرد و بررسی‌ها در مورد آن ادامه دارد. در چند سال اخیر تحقیقات بر روی قسمت خانگی شبکه هوشمند متمرکزشده است [۹-۱۳]. درزمینه برنامه‌ریزی مصرف برق در بخش خانگی نیز مقالاتی نگارش شده است[۱۴-۱۶].

در [۹] یک الگوریتم هوشمند مدیریت مصرف انرژی خانگی[۲] (HEM) برای وسایل پرمصرف خانگی ارائه شده است. این الگوریتم بارهای خانگی را با در نظر گرفتن دو معیار اولویت و میزان استراتژی بودن آن‌ها که از پیش تعیین می‌شوند و همچنین سطح توان مصرفی مجاز مدیریت می‌کند.

در [۱۳] نویسندگان معتقدند برنامه‌ریزی مدیریت مصرف خانه مسئله‌ای است که با دو نوع وسایل خانگی سروکار دارد؛ دسته اول وسایلی با استفاده مقطعی مانند تلویزیون و کامپیوتر و دسته دوم وسایلی با استفاده مستمر مانند یخچال و گرماسازها. روش پیشنهادی این مقاله الگوریتمی برای مدیریت مصرف انرژی خانه می‌باشد که در آن بازار عرضه و تقاضا و پارامتر راحتی و آسایش را در نظر گرفته‌اند.

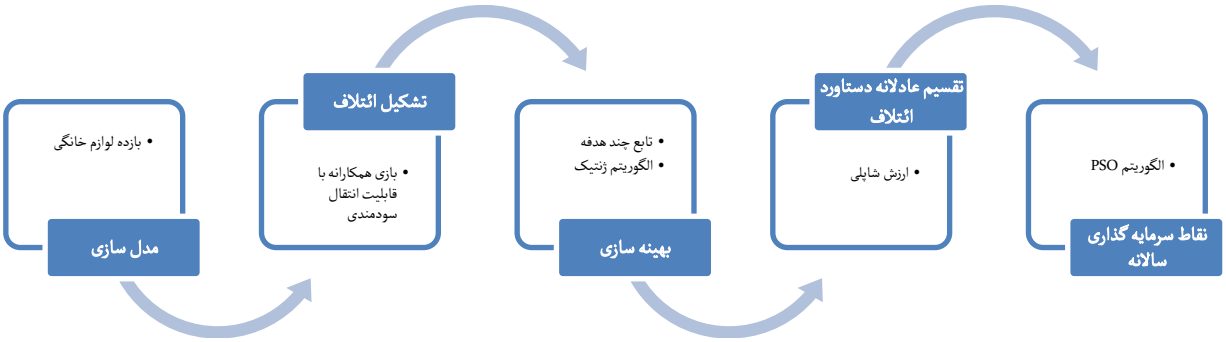
مرجع [۱۷] نیز به بررسی و تعیین پتانسیل مدیریت مصرف در بخش خانگی با در نظر گرفتن سطح رفاه‌طلبی و درآمد خانوار پرداخته است.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-08-26]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.9.1]

۱-۳- هدف، روش، نوآوری

هدف از این مقاله ارائه الگوریتمی هوشمند مبتنی بر روش‌های هوش محاسباتی برای مدیریت بلندمدت مصرف برق خانگی مناسب جهت پیاده‌سازی در بستر شبکه برق هوشمند برق می‌باشد. همچنین در مرحله مدل‌سازی این مسئله از مدل نظریه بازی‌های همکارانه با قابلیت انتقال سودمندی استفاده شده است. این روش تعیین‌کننده نقاط مؤثر سرمایه‌گذاری برای مسئله بهینه‌سازی وسایل خانگی با هدف کاهش مصرف برق بخش خانگی می‌باشد. مدیریت بلندمدت یک نوآوری و نگاهی متفاوت به مسئله مدیریت مصرف برق است که در آن تلاش شده است تا راه‌حلی جدید برای این مسئله ارائه شود. تاکنون مطالعات و اقداماتی که برای مسئله مدیریت مصرف انجام شده است بر روی خروج بارها یا جابجایی زمان کارکرد آن‌ها متمرکز شده است.



شکل (۱): نمودار مراحل طی شده در پژوهش

در این مقاله با استفاده از روش‌های هوش محاسباتی یک ابزار هوشمند پیشنهاد شده است تا از طریق سرمایه‌گذاری مؤثر و بلندمدت در وسایل خانگی پربازده، مصرف برق بخش خانگی کاهش داده شود. نتایج این پژوهش نه‌تنها قابل استفاده برای مشتریان خانگی در مدیریت مصرف برق و کاهش برق مصرفی می‌باشد بلکه برای سیاست‌های مدیریت مصرف شرکت‌های برق، ایجادکننده یک افق جدید و راهکار اقتصادی می‌باشد.

برای رسیدن به این منظور سه گام اصلی برداشته شده است. هدف از گام اول تعریف یک مدل برای بازده تجهیزات در بهینه‌سازی انواع لوازم‌خانگی است که جهت این منظور ابتدا رابطه‌ای برای تخمین انرژی مصرفی هرکدام از لوازم‌خانگی در حالت نوع کم بازده و پربازده آن‌ها با توجه به قیمت‌های لحظه‌ای برق و میزان حضور در مدار تعریف شده است. سپس با کمک این روابط و پارامترهایی دیگر رابطه‌ای برای تعیین میزان بهره‌وری ناشی از جایگزینی هر وسیله خانگی با نوع پربازده آن‌ها ارائه شده است. در گام دوم با استفاده از نظریه بازی‌ها تلاش شده است مسئله به‌گونه‌ای مدل شود تا نظر مشتری برای سرمایه‌گذاری خاص روی دسته‌ای از وسایل خانگی لحاظ شود. برای این منظور با استفاده از مدل بازی همکارانه با قابلیت انتقال سودمندی برای این وسایل تشکیل یک ائتلاف داده شده است تا احتمال حضور این وسایل در برنامه مدیریت مصرف افزایش یابد. در گام سوم با هدف بیشینه کردن سود ناشی از سرمایه‌گذاری بر روی وسایل پربازده یک مدل بهینه‌سازی برای مسئله تعریف شده است که جهت حل آن از الگوریتم ژنتیک چندهدفه و الگوریتم PSO استفاده شده است. این الگوریتم قادر است محل‌های سرمایه‌گذاری با بیشترین سود و کمترین هزینه را شناسایی کند. جزئیات مراحل طی شده در پژوهش در شکل ۲ نشان داده شده است.

۱-۴- ساختار پژوهش

در ادامه مقاله در بخش دوم با توجه به تعدادی از پارامترها مانند میزان حضور وسایل خانگی در طول شبانه‌روز، انرژی مصرفی وسایل نوع پرمصرف و کم‌مصرف، قیمت لحظه‌ای برق، قیمت تجهیز و هزینه تعمیرات یک مدل برای تعیین محل‌های سرمایه‌گذاری با بیشترین بهره ارائه شده است. در بخش سوم از یک مدل بازی همکارانه با قابلیت انتقال سودمندی برای تشکیل ائتلاف روی وسایلی خاص با هدف افزایش احتمال حضور این وسایل در برنامه مدیریت مصرف با توجه به منابع مالی اختصاصی استفاده شده است. در بخش چهارم با استفاده از روش‌های هوش محاسباتی مسئله بهینه‌سازی مدیریت بلندمدت مصرف برق مدل‌سازی شده است. در بخش آخر نیز با در نظر گرفتن یک سناریوی خاص شبیه‌سازی و نتایج آن ارائه شده است.

۲- مدل‌سازی تابع بازده در بهینه‌سازی لوازم بخش خانگی

در این بخش به بررسی تعریف و مدل‌سازی تابع بازده در زمینه بهینه‌سازی لوازم‌خانگی پرداخته شده است. از این مدل برای بهینه‌سازی نقاط سرمایه‌گذاری بلندمدت با بیشترین بهره استفاده شده است.

۲-۱- مدل‌سازی تعیین بازده لوازم کم بازده و پربازده

برای مدل‌سازی بازده لوازم‌خانگی ازآنجاکه این فاکتور متناسب با میزان مصرف برق می‌باشد لذا ابتدا در این قسمت انرژی مصرفی هر تجهیز مدل‌سازی شده است. لازم به ذکر است برای محاسبات این قسمت از قیمت‌های لحظه‌ای برق (R.T.P) استفاده شده است و

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-08-26]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.9.1]

ازآنجاکه این قیمت‌ها در طول شبانه‌روز و نیز روزهای مختلف سال تغییر می‌کنند لذا لازم است بازه زمانی شبانه‌روز به اسلات‌های قابل قبول تقسیم شود. برای محاسبه انرژی مصرفی تجهیز i ام در مدت‌زمان خاص رابطه ۱ ارائه شده است:

$$W_{i,j}^{k} = P_i \times X_{i,j}^{k} \times t \quad (۱)$$

$$\forall (i \in A, j \in T, k \in M)$$

در این رابطه $A=[1,2,\ldots,n]$ مجموعه لوازم‌خانگی $T=[1,2,\ldots,m]$ مجموعه اسلات‌های زمانی و $M=[1,2,\ldots,30]$ مجموعه روزهای ماه است. $W_{i,j}^{k}$ انرژی مصرفی تجهیز i ام در زمان j ام از روز k ام و p_i توان مصرفی وسیله i ام می‌باشد. همچنین ماتریس $X_{i,j}$ یک ماتریس باینری برای نشان دادن حضور یا عدم حضور وسیله i ام در اسلات زمانی j ام از روز k ام می‌باشد و پارامتر t طول هر اسلات زمانی می‌باشد. برای محاسبه انرژی مصرفی تجهیز i ام در طول ۲۴ ساعت شبانه‌روز می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$W_i^{k} = \sum_{j=1}^{m} W_{i,j} = \sum_{j=1}^{m} P_i \times X_{i,j}^{k} \times t \quad (۲)$$

$$\forall (i \in A, j \in T, k \in M)$$

در این رابطه W_i^{k} انرژی مصرفی تجهیز i ام در طول روز k ام می‌باشد. برای محاسبه انرژی مصرفی هرکدام از وسایل خانگی در حالت کم بازده در طول یک ماه رابطه زیر ارائه شده است.

$$W_{i,l}^{old} = \sum_{k=1}^{30} W_{i,k}^{old} = \sum_{k=1}^{30}\sum_{j=1}^{m} p_i^{old} \times X_{ij}^{k} \times t_j \quad (۳)$$

$$\forall (i \in B, j \in T, k \in M, l \in Y)$$

اگر وسیله خانگی کم‌بازده با نوع پربازده آن جایگزین شود انرژی مصرفی ماهیانه وسیله جدید از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$W_{i,l}^{new} = \sum_{k=1}^{30} W_{i,k}^{new} = \sum_{K=1}^{30}\sum_{j=1}^{m} p_i^{new} \times X_{ij}^{k} \times t_j \quad (۴)$$

$$\forall (i \in B, j \in T, k \in M, l \in Y)$$

در این روابط ماتریس $B=[0,1,2,\ldots.]$ مجموعه لوازم‌خانگی که در برنامه مدیریت مصرف بلندمدت برق حضور دارند و $Y=[1,2,\ldots.,12]$ مجموعه تعداد ماه‌های سال می‌باشد. $W_{i,l}^{old}$ انرژی مصرفی تجهیز i ام کم بازده در ماه l ام سال و $W_{i,}^{new}$ انرژی مصرفی تجهیز i ام پربازده در ماه l ام سال می‌باشد. $\mathrm{p_i^{old}}$ توان مصرفی تجهیز i ام کم‌بازده و p_i^{new} توان مصرفی تجهیز i ام پربازده می‌باشد. پس از تعیین مقدار انرژی مصرفی ماهیانه هرکدام از تجهیزات در دو حالت کم بازده و پربازده می‌توان رابطه سالیانه آن را نیز به‌صورت زیر تعریف کرد:

$$W_i^{old} = \sum_{l=1}^{12} W_{i,l}^{old} = \sum_{l=1}^{12}\sum_{k=1}^{30}\sum_{j=1}^{m} p_i^{old} \times X_{ij}^{k} \times t_j \quad (۵)$$

$$\forall (i \in B, j \in T, k \in M, l \in Y)$$

به‌طور مشابه در صورت جایگزینی وسیله خانگی پربازده به‌جای کم‌بازده انرژی مصرفی سالانه وسیله جدید از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$W_i^{new} = \sum_{l=1}^{12} W_{i,l}^{new} = \sum_{l=1}^{12}\sum_{K=1}^{30}\sum_{j=1}^{m} p_i^{new} \times X_{ij}^{k} \times t_j \quad (۶)$$

$$\forall (i \in B, j \in T, k \in M, l \in Y)$$

در این روابط W_i^{old} انرژی مصرفی سالیانه تجهیز i ام کم‌بازده و W_i^{new} انرژی مصرفی سالیانه تجهیز i ام پربازده می‌باشد.

جهت تعیین شاخصی برای میزان کاهش مؤثر هرکدام از تجهیزات رابطه بازده به‌صورت زیر تعریف شده است:

$$R_{i,l}^{eco} = \frac{\sum_{k=1}^{30}\sum_{j=1}^{m}\left(W_{i,j}^{k,old} - W_{i,j}^{k,new}\right)\rho_{j,k}^{R.T.P}}{C_i^{buy}} + \frac{\left(C_{i,l}^{old,repair} - C_{i,l}^{new,repair}\right)}{C_i^{buy}} \quad (۷)$$

$$R_{i,l}^{eco} = \frac{\left(\sum_{k=1}^{30}\sum_{j=1}^{m}\left(W_{i,j}^{k,old} - W_{i,j}^{k,new}\right)\rho_{j,k}^{R.T.P}\right) + \left(C_{i,l}^{old,repair} - C_{i,l}^{new,repair}\right)}{C_i^{buy}} \quad (۸)$$

$$R_{i,l}^{eco} = \frac{\left(\left(\sum_{k=1}^{30}\sum_{j=1}^{m} p_i^{old} \times X_{i,j}^{k} \times t_j - \sum_{k=1}^{30}\sum_{j=1}^{m} p_i^{new} \times X_{i,j}^{k} \times t_j\right)\rho_{j,k}^{R.T.P}\right) + \left(\alpha_{repair} C_{i,l}^{repair} - \beta_{repair} C_{i,l}^{repair}\right)}{C_i^{buy}} \quad (۹)$$

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-08-26]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.9.1]

در این روابط $R_{i,l}^{eco}$ بازده اقتصادی تجهیز i ام در طول ماه l ام سال و $\rho_{j,k}^{R.T.P}$ قیمت برق مربوط به لحظه jام از روز k ام و C_i^{buy} قیمت خرید تجهیز i ام است. همچنین $C_{i,l}^{old,repair}$ و $C_{i,l}^{new,repair}$ به ترتیب هزینه تعمیرات وسیله کم‌بازده و پربازده i ام در طول ماه l ام سال می‌باشد. $C_{i,l}^{repair}$ هزینه هر نوبت تعمیر تجهیز i ام و ضریب α_{repair} و β_{repair} به ترتیب بیانگر احتمال انجام تعمیرات در وسیله خانگی قدیمی و جدید است.

اگر تفاوت توان مصرفی تجهیز i ام پیش از بهینه‌سازی و بعد از آن را به‌عنوان p_i^o و تفاوت هزینه تعمیرات وسیله قدیمی و جدید را به‌عنوان $C_{i,l}^r$ در نظر بگیریم آنگاه رابطه بازده را می‌توان به فرم زیر بازنویسی کرد.

$$p_i^o = p_i^{old} - p_i^{new} \quad (۱۰)$$

$$R_{i,l}^{eco} = \frac{\left(\left(\sum_{k=1}^{30}\sum_{j=1}^{m} p_i^o \times X_{ij}^k \times t_j\right)\rho_{j,k}^{R.T.P}\right) + C_{i,l}^r}{C_i^{buy}} \quad (۱۱)$$

برای به دست آوردن بازده سالانه رابطه زیر ارائه شده است:

$$R_{i,y}^{eco} = \sum_{l=1}^{12} R_{i,l}^{real} \quad (۱۲)$$

سپس بازده اقتصادی میانگین را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$R_i^{ave} = {\sum_{l=1}^{12} R_{i,l}^{eco}}/{12} \quad (۱۳)$$

۳- نظریه بازی‌های همکارانه با قابلیت انتقال سودمندی

در قسمت قبل روابط بازده اقتصادی حاصل از مدیریت بلندمدت مصرف برق تعریف شد. هدف از این مقاله جایابی نقاط بهینه سرمایه‌گذاری با در نظر گرفتن منابع مالی محدود است طوری که محل‌هایی با بیشترین بهره اقتصادی و کمترین هزینه سرمایه‌گذاری معرفی شوند. لیکن بایستی این واقعیت را نیز در نظر داشت که علاوه بر این پارامترهای اقتصادی ممکن است پارامترهای دیگری نیز برای مشتری مهم باشد که با در نظر گرفتن آن‌ها مدل بهتری از مسئله خواهیم داشت. مثلاً ممکن است مشتری بنا به دلایلی مایل به سرمایه‌گذاری بیشتر روی دسته‌ای خاص از وسایل مثل مجموعه وسایل خانگی اساسی باشد. در این مقاله برای در نظر گرفتن این مسائل و مدل‌سازی آن از نظریه بازی‌ها (بازی همکارانه با قابلیت انتقال سودمندی) استفاده شده است.

یک بازی همکارانه با قابلیت انتقال سودمندی را می‌توان به‌صورت یک زوج $\langle N, v\rangle$ در نظر گرفت طوری که N یک مجموعه محدود و غیرتهی است و $v: 2^N \to \mathbb{R}$ یک تابع مشخصه تعریف شده بر روی مجموعه N است که در آن $v(\emptyset) = 0$ است. یک عضو از مجموعه N $(i \in N)$ و یک زیرمجموعه S از N $(S \subseteq N)$ یا $S \in 2N$ با $S \neq \emptyset$ به ترتیب یک بازیگر و ائتلاف نامیده می‌شوند. خود مجموعه N نیز یک ائتلاف است که به آن " ائتلاف جمعی" می‌گویند. ارزش ائتلاف S با $v(S)$ و تعداد اعضای ائتلاف S با $|S|$ مشص می‌شود. طبیعی است ائتلاف S با آن‌هایی که در ائتلاف S نیستند و با SC (مکمل S) نشان می‌دهیم، بازی را به‌صورت رقابتی (غیر همکارانه) دنبال می‌کنند. هنگامی‌که S با SC بازی می‌کنند هرکدام از اعضای S می‌توانند استراتژی یکسان و یا هریک از آن‌ها استراتژی خود را در بازی انتخاب کند مشروط به اینکه منافع ائتلافی که در آن عضو هستند را حداکثر کنند. یک بازی $\langle N, v\rangle$ غیرضروری است اگر برای تمام ائتلاف‌های $S \subseteq N$ به‌صورت $v(S) = \sum_{i\epsilon S} v(\{i\})$ باشد.

تقسیم پیامد (منافع) ائتلاف بین اعضای آن باید عادلانه و به‌گونه‌ای باشد که هیچ ائتلاف دیگری مطلوب بازیکنان آن ائتلاف نباشد. تقسیم یا تخصیصی که به رضایت اعضای ائتلاف منجر شود را "تخصیص عقلایی" میگویند و یکی از مهم‌ترین این روش‌ها "ارزش شپلی" می‌باشد. در این روش ارزش تخصیص‌یافته به اعضای ائتلاف به‌صورت رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Shi(N,v) = \sum_{\substack{S\subset N \\ i\in S}} \frac{(|S|-1)!\,(n-|S|)!}{n!}[V(S) - V(S - \{i\})] \quad (۱۴)$$

علامت $\sum$ به روی تمام ائتلاف‌هایی که بازیکن i در آن حضور دارد بسته می‌شود. $[V(S) - V(S-\{i\})]$ میزان افزایش پیامد ائتلاف S در صورت پیوستن عضو i به آن ائتلاف را نشان می‌دهد.

در این مقاله مجموعه وسایل خانگی $N=\{1, 2, \ldots, n\}$ به‌عنوان شرکت‌کنندگان در بازی در نظر گرفته شده‌اند که هر عضو به‌عنوان یک بازیگر می‌باشد. مجموعه $SC=\{1,2,\ldots,m\}$ به‌عنوان مجموعه مکمل ائتلاف و مجموعه $S = \{m+1, m+2, \ldots, n\}$ به‌عنوان مجموعه وسایل گران‌قیمت می‌باشند که تشکیل یک ائتلاف را داده‌اند تا با همکاری همدیگر شانس انتخاب وسایل گران‌قیمت را افزایش دهند. مشتری توافق کرده است اگر سرمایه‌گذاری بیشتری روی دسته‌ای خاص مثلاً لوازم‌خانگی اساسی (گران‌قیمت‌ها) انجام شود برای سال آینده نیز مبلغی را اختصاص دهد. نتیجه این بازی همکارانه یک مقدار منفعت برای ائتلاف در پی خواهد داشت که با استفاده از رابطه ارزش شپلی بین بازیکنان ائتلاف به‌صورت عادلانه تقسیم خواهد شد.

در یک بازی "تخصیص عقلایی" باید دو ویژگی داشته باشد. اول آنکه کل پیامد تخصیص‌یافته به اعضا باید برابر منافع ایجادشده با تشکیل ائتلاف جمعی باشد. این شرط را اصطلاحاً شرط کارایی یا عقلانیت گروهی می‌گویند که به‌صورت زیر نشان داده می‌شود (که در

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-08-26]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.9.1]

آن X_i نشان‌دهنده میزان پیامد تخصیص‌یافته به بازیکن i از تقسیم منافع ائتلاف است):

$$\sum_{i=1}^{n} X_i = V(N) \qquad (۱۵)$$

دوم آنکه پیامدی که از پیوستن به ائتلاف عاید هر بازیکن می‌شود نباید کمتر از پیامد تنها عمل کردن در مقابل ائتلاف باشد که اصطلاحاً به آن عقلانیت فردی گفته و به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$X_i \geq V(\{i\}) \qquad \forall i \in N \qquad (۱۶)$$

۴- مدل‌سازی مسئله بهینه‌سازی مدیریت بلندمدت مصرف

در قسمت قبل روابط بازده سرمایه‌گذاری در بهینه‌سازی لوازم‌خانگی معرفی شد. رفتار مشتری معمولاً این‌گونه است که مایل به سرمایه‌گذاری در محل‌هایی با سود بیشتر و هزینه کمتر است. بر این اساس می‌توان دو تابع هدف مطرح کرد. اولین هدف از مسئله بهینه‌سازی مدیریت بلندمدت مصرف بیشینه کردن بازده سرمایه‌گذاری است که برای آن رابطه زیر ارائه شده است:

$$MAX\ F_1 = \lambda \sum_{i=1}^{m} X_i R_i^{ave} + (1-\lambda) \sum_{j=m+1}^{n} Z_j R_j^{ave} \qquad (۱۷)$$
$$\forall (i \in SC\ , j \in S)$$

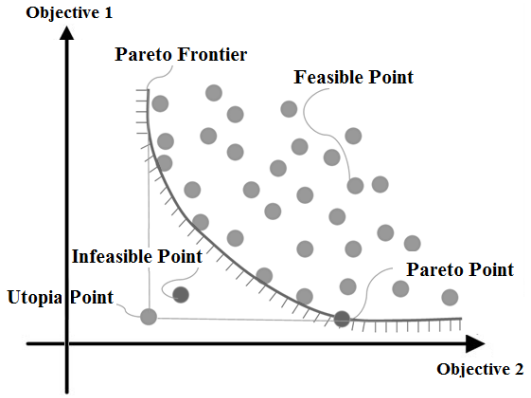
در رابطه فوق ماتریس $SC=[1,\ 2,\ ....,m]$ مجموعه وسایل خانگی غیر ائتلاف و $S=[m+1,\ m+2,\ ....,\ n]$ مجموعه وسایل خانگی ائتلاف می‌باشد. همچنین Z_j و X_i ماتریس‌های باینری هستند که نشان‌دهنده سرمایه‌گذاری یا عدم سرمایه‌گذاری در این مجموعه‌ها می‌باشد. با وارد کردن ضریب λ در تابع هدف تلاش شده است تا یک پارامتر وزن دهی که مقدار آن در بازه [0,1] تغییر می‌کند جهت اعمال‌نظر مشتری برای سرمایه‌گذاری بیشتر روی دسته‌ای خاص از لوازم در نظر گرفته شود. رابطه (۱۷) را می‌توان به‌صورت یک مسئله کمینه‌سازی نیز بیان کرد :

$$MIN\ F_1 = \lambda \sum_{i=1}^{m} -X_i R_i^{ave} + (1-\lambda) \sum_{j=m+1}^{n} -Z_j R_j^{ave} \qquad (۱۸)$$

در مورد هدف دوم مسئله نیز می‌توان رابطه زیر را که شامل کمینه‌سازی هزینه سرمایه‌گذاری است ارائه داد:

$$MIN\ F_2 = \sum_{i=1}^{m} X_i I_i + \sum_{j=m+1}^{n} Z_j I_j \qquad (۱۹)$$

در این رابطه $I_i=[I_1,\ I_2,\ ....,\ I_m]$ ماتریس سرمایه‌گذاری برای مجموعه وسایل خانگی مکمل ائتلاف و $I_j=[I_{m+1},\ I_{m+2},\ ....,\ I_n]$ ماتریس سرمایه‌گذاری برای مجموعه وسایل خانگی ائتلاف می‌باشد.



شکل (۳): پاسخ‌های بهینه یک مسئله دو هدفه

۵- بهینه یابی چندهدفه

بیشتر مسائل بهینه‌سازی که در دنیای واقعی با آن‌ها سروکار داریم بیش از یک هدف را دربرمی‌گیرند؛ به‌طوری‌که پاسخ بهینه مسئله هنگامی حاصل می‌گردد که کلیه اهداف به مرز خاصی از بهینگی رسیده باشند. این‌گونه مسائل را مسائل بهینه‌سازی چندهدفه می‌نامیم.

اهداف مطرح در مسائل بهینه‌سازی چندهدفه ممکن است با هم در تضاد باشند، ازاین‌رو همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود با مجموعه‌ای از پاسخ‌های بهینه مواجه خواهیم بود. پس از یافتن مجموعه‌ای از چنین جواب‌هایی کاربر می‌تواند با استفاده از ملاحظاتی دست به انتخاب بزند [۱۸]. مجموعه تمام جواب‌های بهینه پارتو در یک مسئله چندهدفه مجموعه بهینه پارتو و بردارهای هدف متناظر با آن، لبه یا جبهه بهینه پارتو نامیده می‌شوند.

۵-۱- الگوریتم NSGA-II:

الگوریتم NSGA-II[۳] [۱۹]، اولین بار توسط دب و همکارانش در سال ۲۰۰۲ ارائه شد. این الگوریتم یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه می‌باشد که از نگرش نخبه‌گرایی استفاده می‌کند و می‌تواند در یک فضای گسترده از متغیر تصمیم و هدف جستجو کند [۲۰]. در این الگوریتم ابتدا جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شود. سپس این جمعیت با توجه به توابع هدف و بر اساس مفهوم غالب بودن به کمک عملگر مرتب‌سازی نامغلوب[۴] به n سطح پارتو[۵] (F) تقسیم می‌گردد. به هر سطح پارتو یک رتبه مجزا و به اعضای درون سطح یک رتبه مساوی بر اساس مفهوم غالب بودن

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-08-26]

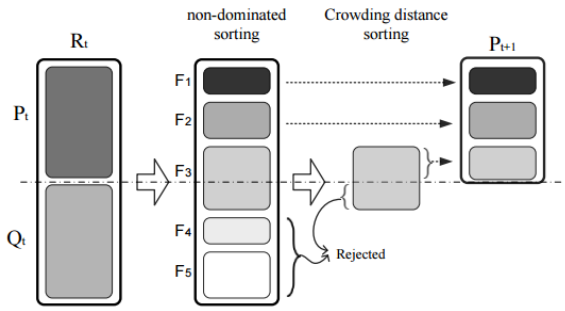
[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.9.1]

نسبت داده می‌شود. حال برای اعضایی که در یک سطح پارتو قرار می‌گیرند و دارای یک رتبه می‌باشند، یک عدد فاصله با توجه به روش فاصله ازدحامی[۶] نسبت داده می‌شود که بیانگر رتبه فاصله است. در مرحله بعد به کمک الگوریتم رقابت دودویی، جمعیت والد (P) با توجه به رتبه غالب بودن کمتر و رتبه فاصله بیشتر انتخاب می‌شوند. در ادامه، جمعیت نتیجه (Q) از روی جمعیت والد به کمک عملگرهای کلاسیک ژنتیک ایجاد می‌شوند. در نهایت جمعیت‌های والد و فرزندان باهم ترکیب می‌شوند و سپس جمعیت نسل بعد (R) از کل مجموعه این دو جمعیت که شامل جمعیت نخبه نیز می‌باشد انتخاب می‌گردد. این روند در نسل‌های بعد نیز به همین صورت تکرار می‌شود تا معیار اختتام ارضا گردد (به‌عنوان نمونه می‌توان همگرا شدن کل جمعیت و یا اینکه فاصله برازندگی بهترین فرد جمعیت از متوسط برازندگی‌ها را در نظر گرفت). شکل ۴ نمایشی از نحوه عملکرد این الگوریتم را نشان می‌دهد. در این شکل R_t جمعیت حاصل از ترکیب جمعیت والدین و فرزندان نسل t می‌باشد. در ابتدا جمعیت R_t به‌وسیله عملگر مرتب‌سازی نامغلوب به ۵ سطح پارتو (F) تقسیم شده است. چون تنها به تعداد جمعیت اولیه، از جمعیت R_t می‌تواند به نسل بعد انتقال یابند لذا جمعیت F_1 و F_2 به دلیل داشتن رتبه غالب بودن بهتر، می‌توانند به‌صورت مستقیم وارد نسل بعد شوند. اما جمعیت F_3 نمی‌تواند به‌صورت کامل به نسل بعد انتقال یابد. لذا در ابتدا اعضای جمعیت F_3 به روش فاصله ازدحامی مرتب شده سپس تعدادی از اعضای این جبهه پارتو که دارای فاصله ازدحامی بهتری می‌باشند به نسل بعد انتقال می‌یابند و باقی اعضای این سطح پارتو به همراه اعضای F_4 و F_5 حذف می‌گردند.

۵-۲- الگوریتم PSO

الگوریتم PSO برای اولین بار توسط کندی و ابرهارت در سال ۱۹۹۵ مطرح شد. این الگوریتم محاسبه‌ای تکاملی الهام گرفته از طبیعت و بر اساس تکرار می‌باشد و از تعداد مشخصی از ذرات تشکیل می‌شود که به‌طور تصادفی مقدار اولیه می‌گیرند. برای هر ذره دو مقدار وضعیت و سرعت تعریف می‌شود که به ترتیب با یک بردار مکان و یک بردار سرعت مدل می‌شوند. این ذرات به‌صورت تکرارشونده‌ای در فضای n بعدی مسئله حرکت می‌کنند تا با محاسبه مقدار بهینگی به‌عنوان یک ملاک سنجش گزینه‌های ممکن جدید را جستجو کنند. بُعد فضای مسئله، برابر تعداد پارامترهای موجود در تابع موردنظر برای بهینه‌سازی می‌باشد. یک حافظه به ذخیرهٔ بهترین موقعیت هر ذره در گذشته و یک حافظه به ذخیرهٔ بهترین موقعیت پیش‌آمده در میان همهٔ ذرات اختصاص می‌یابد. با تجربهٔ حاصل از این حافظه‌ها، ذرات تصمیم می‌گیرند که در نوبت بعدی چگونه حرکت کنند. در هر بار تکرار همهٔ ذرات در فضای n بعدی مسئله حرکت می‌کنند تا نقطهٔ بهینهٔ عام پیدا شود. ذرات سرعت‌هایشان و موقعیتشان را بر حسب بهترین جواب‌های مطلق و محلی به‌روز می‌کنند.

الگوریتم PSO بردار سرعت هر ذره را به‌روز کرده و سپس مقدار سرعت جدید را به موقعیت و یا مقدار ذره می‌افزاید. به‌روز کردن‌های سرعت تحت تأثیر هر دو مقدار بهترین جواب محلی و بهترین جواب مطلق قرار می‌گیرند. بهترین جواب محلی و بهترین جواب مطلق بهترین جواب‌هایی هستند که تا لحظه‌ی جاری اجرای الگوریتم به ترتیب توسط یک ذره و در کل جمعیت به دست آمده‌اند. مزیت اصلی PSO این است که پیاده‌سازی این الگوریتم ساده بوده و نیاز به تعیین پارامترهای کمی دارد. همچنین PSO قادر به بهینه‌سازی توابع هزینه‌ی پیچیده با تعداد زیادی مینیمم محلی است.



شکل (۴): نمایشی از نحوه عملکرد الگوریتم NSGA-II

۶- آنالیز توزیع احتمال خرابی:

توزیع مهمی که در مباحث تعمیرات به‌عنوان توزیع طول عمر مطرح است توزیع وایبل می‌باشد [۲۹] که مدل دو پارامتری آن به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f(t)=\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \qquad (۲۰)$$

توزیع وایبل برای مقادیر مختلف β در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل دیده می شود مقدار β تعیین‌کننده شکل توزیع است. مفهوم کاربردی این مقادیر را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد [۳۰].

الف) $\beta<1$ به این مفهوم است که نرخ خرابی با افزایش زمان کاهش می‌یابد.

ب) $\beta=1$ به این مفهوم است که نرخ خرابی (شکست) در طول زمان ثابت است. در این حالت وقایع تصادفی بیرونی دلیل خرابی و شکست خواهند بود.

ج) $\beta>1$ به این مفهوم است که نرخ خرابی (شکست) با افزایش زمان بیشتر می‌شود. این حالت در مورد تجهیزاتی مصداق دارد که با استفاده بیشتر از آن‌ها احتمال خرابی‌شان افزایش می‌یابد.

همچنین پارامتر η می‌تواند جمع شدگی تابع را تغییر و آن را به سمت چپ و راست متمایل سازد.

تابع نرخ خرابی برای توزیع وایبل به صورت زیر است:

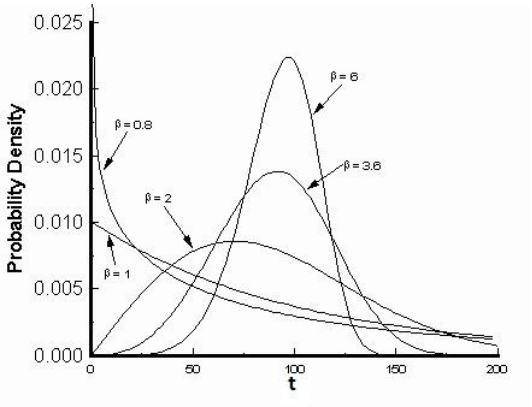
$$h(t)=\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{1-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \qquad (۲۱)$$

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-08-26]

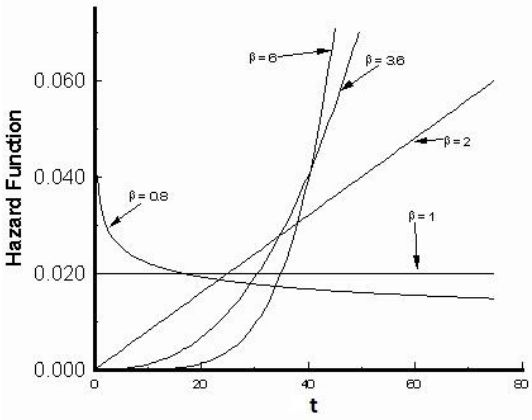
[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.9.1]

واضح است که $h(t)$ با تغییر متغیر تصادفی t تغییر خواهد کرد. در شکل زیر مقدار $h(t)$ به ازای مقادیر مختلف β رسم شده است:

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود وقتی $\beta = 1$ است، $h(t)$ وابسته به t نیست و دارای مقدار ثابتی است. درصورتی‌که $\beta > 1$ باشد $h(t)$ صعودی و وقتی $\beta < 1$ باشد $h(t)$ نزولی است.



شکل (۵): توزیع دو پارامتری وایبل



شکل (۶): تغییرات تابع خرابی

۷- شبیه‌سازی و نتایج

جهت ارزیابی روش پیشنهادی شبیه‌سازی‌ها در محیط نرم‌افزار MATLAB انجام شده است. برای این منظور یک خانواده چهار نفره در نظر گرفته شده است که رفتار آن در جدول (۱) آورده شده است. بر این اساس بازه ممکن برای استفاده از هر وسیله در جدول (۲) آورده شده است. لازم به ذکر است مجموع مدت‌زمان استفاده از تلویزیون در طول روز بر اساس دستورالعمل ۱۰۶۲/۲۰۱۰ می‌باشد [۲۱].

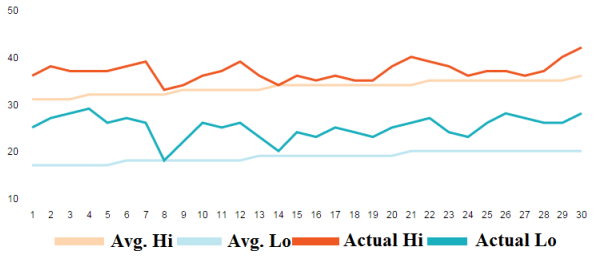
همچنین جهت برآورد زمان کارکرد کولرگازی از داده‌های آماری مربوط به دمای شهر تهران در سال ۲۰۱۵ استفاده شده است [۲۲]. به این صورت که برای روزهای با دمای بین ۳۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد ۳ ساعت کارکرد و برای دمای بین ۳۵-۳۱ درجه سانتی‌گراد ۱۰ ساعت کارکرد و برای دمای بیشتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد ۱۲ ساعت کارکرد در نظر گرفته شده است. در شکل ۷ نمودار دمای یک ماه از این سال مشاهده می‌شود.

جدول (۱): الگوی رفتاری خانواده در روز غیر تعطیل

شماره	رفتار	ساعت	تعداد افراد
۱	بیدار شدن از خواب	۵/۳۰ صبح	۴
۲	صرف صبحانه	۶/۳۰ صبح	۴
۳	ترک خانه	۷ صبح	۴
۴	بازگشت فرزندان	۱ بعدازظهر	۲
۵	بازگشت والدین و صرف ناهار	۲/۳۰ بعدازظهر	۲
۶	صرف شام	۹/۳۰ شب	۴
۸	زمان خواب	۱۱ شب	۴

جدول (۲): بازه زمانی برای استفاده از لوازم مختلف

بازه زمانی	وسیله خانگی	توان مصرفی (w)		زمان کارکرد
		پرمصرف	کم‌مصرف	
۱	چای‌ساز	۲۲۰۰	۱۵۰۰	۶ صبح
۲	تلویزیون	۱۲۵	۲۸	۶ تا ۷ صبح و ۱۰-۶ بعدازظهر
۳	پلوپز	۸۶۰	۵۵۰	۲/۳۰ بعدازظهر
۴	زودپز	۱۰۰۰	۷۰۰	۲/۳۰ و ۹ بعدازظهر
۵	کولرگازی	۰.۶۹	۰.۴۵	طبق مرجع [۲۱]



شکل (۷): نمودار دمای شهر تهران (june 2015) [۲۲]

با توجه به اطلاعات جدول (۲) و روابط ارائه‌شده در قسمت‌های قبل انرژی مصرفی سالانه لوازم‌خانگی مختلف محاسبه و در جدول (۳) آورده شده است. همچنین قیمت وسایل خانگی نوع کم‌مصرف و دوره کارکرد وسایل نیز داده شده است.

جدول (۳): توان مصرفی و قیمت لوازم‌خانگی

ردیف	وسیله خانگی	انرژی مصرفی نوع پرمصرف (KWh/year)	عمر وسیله	هزینه تعمیر [۲۳]	احتمال شیوع خرابی درمجموع ۴-۳ سال اول	انرژی مصرفی نوع کم‌مصرف (KWh/year)	قیمت ($)	دوره کارکرد روزانه
۱	یخچال فریزر (۳۳۷ لیتر)	۳۰۷ A+	۷	۱۵۵-۲۰۰	٪۱۲	۱۶۶ A+++	۱۱۰۰	دستورالعمل ۱۰۶۰/۲۰۱۰
۲	چای‌ساز ۱/۸ لیتری	۱۳۲	۱/۵	۳/۶	٪۱۰۰	۹۰	۹۰	۱۰ دقیقه

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-08-26]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.9.1]

۳	پلوپز ۱/۸ لیتری	۲۵۸	۵	۴	٪۲۰	۱۶۵	۱۰۰	**۵۰ دقیقه**
۴	کولرگازی ۹۰۰۰	۹۵۲ A+	۵	۱۸۵-۲۳۹	٪۱۵	۶۲۱ A+++	۱۴۰۰	**چند ماه در سال**
۵	تلویزیون ۳۲ اینچ	۲۲۵	۵/۵	۱۲۲-۱۵۸	٪۸	۵۰	۳۵۰	**۳۰۰ دقیقه (دستورالعمل ۱۰۶۲/۲۰۱۰)**
۶	ماشین ظرفشویی (۱۴ نفره)	۲۹۵ A+	۵	۱۰۷-۱۳۸	٪۲۱	۲۳۵ A+++	۸۵۰	**دستورالعمل ۱۰۵۹/۲۰۱۰**
۷	ماشین لباسشویی ۸ کیلوگرمی	۱۹۵ A	۵/۵	۱۲۳-۱۶۰	٪۲۹	۱۳۶ A+++	۹۲۰	**دستورالعمل ۱۰۶۱/۲۰۱۰**
۸	زودپز ۶ لیتری	۱۸۰	۵	۶/۸	٪۲۰	۱۲۶	۱۷۰	**۳۰ دقیقه**

لازم به ذکر است در این جدول انرژی مصرفی ماشین ظرفشویی و یخچال فریزر و ماشین لباسشویی به ترتیب بر اساس دستورالعمل‌های ۱۰۵۹/۲۰۱۰ و ۱۰۶۰/۲۰۱۰ و ۱۰۶۱/۲۰۱۰ اروپا می‌باشد [۲۴-۲۶].

در روابط ارائه‌شده در بخش ۲-۱ جهت محاسبه بازده وسایل خانگی، هزینه تعمیرات وسایل خانگی نیز در نظر گرفته شده است که ضریب α_{repair} و β_{repair} بیانگر احتمال وقوع تعمیرات می‌باشد که در اینجا برای تقریب آن‌ها از تابع احتمال وایبل با $\beta > 1$ استفاده شده است. در جدول ۳ نرخ شیوع خرابی در ۴-۳ سال اول [۲۷] برای هرکدام از وسایل خانگی آورده شده است. برای محاسبه احتمال خرابی هر وسیله فرض شده است که هرکدام از این وسایل به‌طور سالانه با همین نرخ احتمال خرابی‌شان افزایش پیدا می‌کند.

ازآنجایی‌که در روش پیشنهادی از قیمت‌های لحظه‌ای برق استفاده شده است لذا قیمت‌های برق از مرجع [۲۸] جمع آوری شده است. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود با هدف نزدیکی هر چه بیشتر شبیه‌سازی‌ها به واقعیت، در مواردی مانند یخچال یا ماشین لباسشویی و غیره که امکان دسترسی به مراجع معتبر جهت تخمین انرژی مصرفی سالانه تجهیز وجود داشته است از دستورالعمل‌هایی با مراجع معتبر استفاده شده است. از آنجا که در این مراجع به جزئیات زمان استفاده از لوازم اشاره نشده و فقط به مقدار عددی میانگین آن‌ها اشاره شده است و از طرفی طول دوره برنامه ریزی یک ساله می‌باشد لذا جهت اعتبار دهی به نتایج از میانگین قیمت‌های لحظه‌ای برق در سال (به جای استفاده از قیمت های ثابت) استفاده شده است.

جدول (۴): میانگین قیمت لحظه‌ای برق

ساعت	قیمت	ساعت	قیمت	ساعت	قیمت
۱	۰/۰۱۸۴۵۰	۹	۰/۰۲۸۲۱۰	۱۷	۰/۰۳۰۸۱۰
۲	۰/۰۱۷۴۹۰	۱۰	۰/۰۲۶۲۳۰	۱۸	۰/۰۳۰۷۳۰
۳	۰/۰۱۷۲۱۰	۱۱	۰/۰۲۵۸۵۰	۱۹	۰/۰۲۸۴۷۰
۴	۰/۰۱۸۳۵۰	۱۲	۰/۰۲۵۴۷۰	۲۰	۰/۰۲۶۵۶۰
۵	۰/۰۲۱۴۹۰	۱۳	۰/۰۲۳۶۷۰	۲۱	۰/۰۲۴۳۶۰
۶	۰/۰۲۷۰۴۰	۱۴	۰/۰۲۲۵۱۰	۲۲	۰/۰۲۱۶۷۰
۷	۰/۰۳۱۸۵۰	۱۵	۰/۰۲۲۳۰۰	۲۳	۰/۰۱۹۸۵۰
۸	۰/۰۲۹۷۳۰	۱۶	۰/۰۲۴۵۰۰	۲۴	۰/۰۱۹۵۰۰

همان‌طور که در بخش ۲-۴ توضیح داده شده است می‌توان حالتی را در نظر گرفت که مشتری تمایل دارد سرمایه‌گذاری بیشتری روی دسته‌ای خاص از وسایل انجام دهد. جهت تحقق این منظور و افزایش شانس برنده شدن آن‌ها، بین این وسایل ائتلاف تشکیل می‌شود. در اینجا فرض شده است سقف اعتبار سال اول ۱۰۰۰$ است که مشتری توافق کرده است در صورت سرمایه‌گذاری بیشتر روی لوازم اساسی در سال آینده مجدداً مبلغ ۵۰۰$ را اختصاص دهد. همچنین مقدار λ برابر ۰/۳ فرض شده است.

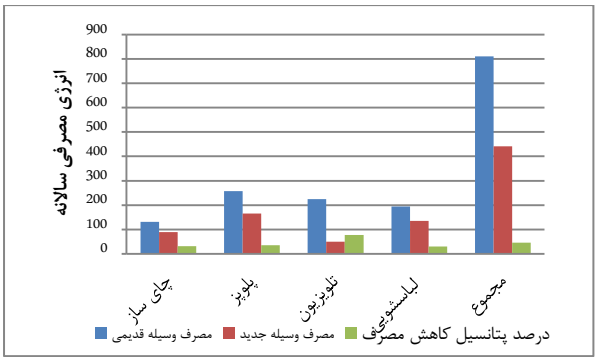
پس از تشکیل ائتلاف و انجام شبیه‌سازی به‌وسیله الگوریتم ژنتیک از میان مجموعه لوازم غیر ائتلاف چای‌ساز، پلوپز و تلویزیون و از میان مجموعه لوازم ائتلاف ماشین لباسشویی انتخاب شدند که مجموع هزینه‌های آن نیز برابر ۱۴۶۰$ می‌باشد. این وسایل بایستی در طی دو سال و با اعتبار اختصاص یافته جایگزین وسایل قدیمی شوند. سپس برای تعیین وسایلی که در سال اول بایستی جایگزین شوند با استفاده از الگوریتم PSO و با شرکت تمام مجموعه لوازمی که در قسمت قبل انتخاب شده‌اند شبیه‌سازی انجام شده است که چای‌ساز، پلوپز و تلویزیون به‌عنوان برنده نهایی برای خرید در سال اول انتخاب شدند که مجموع هزینه این وسایل ۵۴۰$ می‌باشد و ماشین لباسشویی با هزینه ۹۲۰$ برای خرید در سال دوم می‌باشد.

با اجرای روش پیشنهادی در مورد مطالعاتی ذکرشده، همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است مقدار مجموع برق مصرفی چهار وسیله خانگی از ۸۱۰KWh/year به ۴۱۰KWh/year کاهش یافته است. به عبارت دیگر می‌توان گفت نتیجه حاصل از سرمایه‌گذاری بر روی بهینه‌سازی روی این چهار وسیله، کاهش میانگین ۴۵/۵۶٪ از برق مصرفی آن‌ها می‌باشد (درصد کاهش هر وسیله به تفکیک نیز مشخص شده است). از مشاهده شکل ۸ می‌توان دریافت از لحاظ پتانسیل کاهش مصرف برق تلویزیون دارای بیشترین درصد پتانسیل می‌باشد (در سناریوی مورد بررسی).

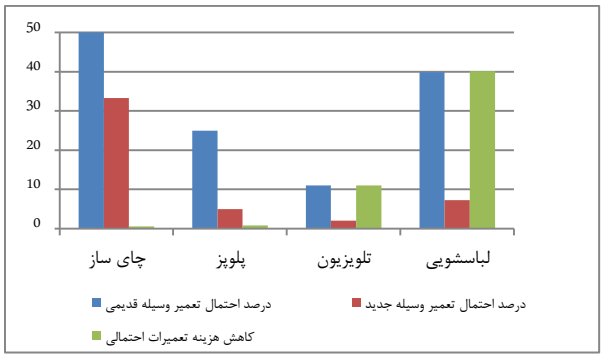
روش پیشنهادی همچنین باعث کاهش هزینه‌های ناشی از تعمیرات لوازم‌خانگی نیز شده است. در مجموع هزینه تعمیرات سالانه چهار وسیله قدیمی مورد بررسی $ ۶۵/۲۲ و مجموع هزینه تعمیرات نوع جدید آن‌ها $ ۱۲/۷۳٪ است که به‌طور میانگین کاهش ۸۰/۴۸٪ داشته‌اند. در شکل ۹ احتمال تعمیر وسایل قدیمی و جدید و کاهش هزینه احتمالی تعمیرات برای هر وسیله نشان داده شده است. با مشاهده این نمودار می‌توان دریافت که از لحاظ پتانسیل کاهش هزینه تعمیرات، ماشین لباسشویی دارای بیشترین پتانسیل می‌باشد.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-08-26]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.9.1]



شکل (۸): انرژی مصرفی قبل و بعد از اجرای روش پیشنهادی



شکل (۹): کاهش هزینه تعمیرات احتمالی ناشی از اجرای روش پیشنهادی

۸- نتیجه‌گیری:

سیاست‌های بلندمدت دیدگاه و افق جدیدی در مدیریت مصرف برق می‌باشد. در این مقاله الگوریتمی ترکیبی بر پایه روش‌های هوش محاسباتی جهت مدیریت بلندمدت مصرف برق خانگی با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی ارائه شده است. جهت این منظور مدلی برای بازده اقتصادی ناشی از جایگزینی وسایل خانگی قدیمی با انواع بهینه آن‌ها در نظر گرفته شده است. سپس مسئله با استفاده از نظریه بازی همکارانه با قابلیت انتقال سودمندی با هدف سرمایه‌گذاری بیشتر روی دسته‌ای خاص از وسایل بازتعریف شده است. در این مقاله جهت پیدا کردن نقاط بهینه سرمایه‌گذاری از روش‌های هوش محاسباتی استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی انجام شده نشان‌دهنده کاهش ۴۵/۵۶ درصدی برق مصرفی و نیز کاهش ۸۰/۴۸ درصدی هزینه تعمیرات ناشی از اجرای روش پیشنهادی می‌باشد. نتایج این مقاله علاوه بر استفاده مشتریان خانگی می‌تواند برای شرکت‌های برق نیز قابل‌استفاده باشد به‌گونه‌ای که از نتایج می‌توان جهت تعیین اولویت‌های برنامه‌ریزی برای کاهش مصرف برق ناشی از سیاست‌های بلندمدت استفاده نمود.

مراجع

[۱] H. Farhangi, "The path of the smart grid," *IEEE power and energy magazine*, vol. 8, pp. 18-28, 2010.

[۲] U. S. D. o. Energy and S. Abraham, *National transmission grid study*: US Department of Energy, 2002.

[۳] *Technology Roadmap: Smart Grids. International Energy Agency, Paris, 2011* . Available: http://www.iea.org/papers/2011/smartgrids_roadmap.pdf

[۴] A. Faruqui, R. Hledik, S. Newell, and H. Pfeifenberger, "The power of 5 percent," *The Electricity Journal*, vol. 20, pp. 68-77, 2007.

[۵] Q. QDR, "Benefits of demand response in electricity markets and recommendations for achieving them," *US Dept. Energy, Washington, DC, USA, Tech. Rep*, 2006.

[۶] B. Insight, "Smart Metering in Western Europe," *M2M research series*, 2009.

[۷] A. Ghassemi, S. Bavarian, and L. Lampe, "Cognitive radio for smart grid communications," in *Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2010 First IEEE International Conference on*, 2010, pp. 297-302.

[۸] F. Staff, "Assessment of demand response and advanced metering. Federal Energy Regulatory Commission," Docket AD-06-2-0002006.

[۹] M. Pipattanasomporn, M. Kuzlu, and S. Rahman, "An algorithm for intelligent home energy management and demand response analysis," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, pp. 2166-2173, 2012.

[۱۰] Y. Guo ,M. Pan, Y. Fang, and P. P. Khargonekar, "Coordinated energy scheduling for residential households in the smart grid," in *Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2012 IEEE Third International Conference on*, 2012, pp. 121-126.

[۱۱] L. P. Qian, Y. J. A. Zhang, J. Huang, and Y. Wu, "Demand response management via real-time electricity price control in smart grids," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 31, pp. 1268-1280, 2013.

[۱۲] B. Qela and H. Mouftah, "Peak load curtailment in a smart grid via fuzzy system approach," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, pp. 761-768, 2014.

[۱۳] B. Liu and Q. Wei, "Home energy control algorithm research based on demand response programs and user comfort," in *Measurement, Information and Control (ICMIC), 2013 International Conference on*, 2013, pp. 995-999.

[۱۴] M. Tasdighi, H. Ghasemi, and A. Rahimi-Kian, "Residential microgrid scheduling based on smart meters data and temperature dependent thermal load modeling," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol ,۵ . pp. 349-357, 2014.

[۱۵] F. De Angelis, M. Boaro, D. Fuselli, S. Squartini, F. Piazza, and Q. Wei, "Optimal home energy management under dynamic electrical and thermal constraints," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 9, pp. 1518-1527,2013.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-08-26]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.9.1]

زیرنویس‌ها

[1] Advanced Metering Infrastructure
[2] Home Energy Management
[3] Non-dominated Sorting Genetic Algorithm
[4] Non dominated Sorting
[5] Pareto Front
[6] Crowding Distance

[۱۶] T. Huang and D. Liu, "A self-learning scheme for residential energy system control and management," *Neural Computing and Applications*, vol. 22, pp. 259-269, 2013.

[۱۷] M. E. H. M. Aghamihammadi, "Evaluate the potential of management policies in the residential sector, considering seeking welfare and household income," *Iranian Electric Industry Journal of Quality and Productivity (ieijqp)*, vol. 4, pp. 48-57, 2015.

[۱۸] K. Deb, *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms* vol. 16: John Wiley & Sons, 2001.

[۱۹] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, and T. Meyarivan, "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II," *IEEE transactions on evolutionary computation*, vol. 6, pp. 182-197, 2002.

[۲۰] C. Maringanti, I. Chaubey, and J. Popp, "Development of a multiobjective optimization tool for the selection and placement of best management practices for nonpoint source pollution control," *Water Resources Research*, vol. 45, 2009.

[۲۱] EuropeanCommission:, "Commission delegated regulation) EU) No 1062/2010 of 28 September 2010 supplementing Directive 2010/30/EU of the European Parliament and of the Council with regard to energy labelling of televisions".

[۲۲] AccuWeather. Available: http://www.accuweather.com

[۲۳] *Appliance & Home Repair* .Available: https://www.searshomeservices.com/repair

[۲۴])NO. 056/11 MARCH 2011). *UPDATE ON THE EU ENERGY LABELLING REQUIREMENTS* Available: http://newsletter.sgs.com/eNewsletterPro/uploadedimages/000026/SGS-Safeguards-05611-Update-on-the-EU-Energy-Labelling-Req-EN-11.pdf

[۲۵] "Commission Delegated Regulation (EU) supplementing No 1061/2010 of 28 September 2010 Directive 2010/30/EU of the European Parliament and of the Council with regard to energy labelling of household washing machines," *Official Journal of the European Union*, 30. 11. 2010.

[۲۶] B. Josephy, E. Bush, J. Nipkow, and S. Attali, "Washing machines: key criteria for best available technology BAT," in *Proceedings of the 6th International Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting EEDAL*, 2011.

[۲۷] ConsumerReportsNationalResearchCenter, "Product Reliability Survey," ed, 2006

[۲۸] *Real Time Prices - Ameren*. Available: https://www2.ameren.com/RetailEnergy/RealTimePrices

[۲۹] B. Gnedenko, I. V. Pavlov, I. A. Ushakov, I .A. Ushakov, and S. Chakravarty, *Statistical reliability engineering*: John Wiley & Sons, 1999.

[۳۰] m. e. Ahmad jafarnejad, Ed., *reliability and maintenance management*. 2011, p.^pp. Pages.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2025-08-26]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.2.9.1]