Journal of Modeling in Engineering 22 (2024) 293-306

Semnan University

Journal of Modeling in Engineering

Journal homepage: https://modelling.semnan.ac.ir/

ISSN: 2783-2538

Research Article

Hierarchical Clustering of Residential Appliances Considering the Characteristics of the Appliances

Shima Simsar [a,*], Mahmood Alborzi [b,*], Ali Rajabzadeh Ghatari [c], Ali Yazdian Varjani [d]

[a] *PhD Student, Department of Information Technology Management, Faculty of Management and Economic, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
[b] *Associate Professor, Department of Information Technology Management, Faculty of Management and Economic, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
[c] *Associate Professor, Department of Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran*
[d] *Associate Professor, Department of Electrical and Computer Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran*

PAPER INFO

Paper history:

Received: 10 November 2022
Revised: 01 December 2023
Accepted: 19 February 2024

Keywords:

Smart grid,
Home energy Management system,
Demand response,
Hierarchical clustering.

ABSTRACT

Nowadays, demand response is recognized as an important element in the reliability of smart grid. Smart home energy management systems, which prioritize the start-up of electrical appliances according to the necessity of use and efficiency, play a vital role in the effectiveness of load response strategies in residential areas. Considering the sensor technologies, clarification on electricity consumption details helps to optimally monitor how the appliances are used. In this research, an unsupervised machine learning model was proposed for the clustering of home appliances to manage the bills of customers based on their inherent characteristics. Due to the small number of clusters, it becomes possible to manage electricity consumption. The hierarchical clustering method was used to classify appliances into three clusters. The first cluster is the appliances that are turned on at the discretion of the consumers immediately, the second cluster is the appliances that can be turned on according to the schedule and their usage can be postponed and the third cluster is appliances that are preferred by a limited number of consumers. The silhouette coefficient was developed as a measure of the hierarchical clustering model performance, where the average silhouette coefficient of 0.56 indicates the satisfaction of the model. Based on the results, it was found that the proposed clustering method can rationally classify different types of home appliances by selecting the appropriate characteristics since the appliances in a cluster are very similar to each other and can help users understand the operating conditions of the appliances.

DOI: https://doi.org/10.22075/jme.2024.28906.2359

© 2024 Published by Semnan University Press.
This is an open access article under the CC-BY 4.0 license.(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

*** Corresponding author:**
E-mail address: mahmood_alborzi@yahoo.com

How to cite this article:
Simsar, S., Alborzi, M., Rajabzadeh Ghatari, A., & Yazdian, A. (2024). Hierarchical clustering of residential appliances considering the characteristics of the appliances. Journal of Modeling in Engineering, 22(78), 293-306. doi: 10.22075/jme.2024.28906.2359

مقاله پژوهشی

خوشه‌بندی لوازم خانگی با استفاده از مدل خوشه‌بندی سلسله مراتبی بر اساس ویژگی‌های لوازم خانگی

شیما سیمسار [۱]، محمود البرزی [۲،*]، علی رجب زاده قطری [۳]، علی یزدیان ورجانی [۴]

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۱۹
بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۱۰
پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۳۰

واژگان کلیدی:
شبکه هوشمند،
سیستم مدیریت انرژی خانگی،
پاسخ تقاضا،
خوشه‌بندی سلسله مراتبی.

چکیده

امروزه پاسخ تقاضا به عنوان عنصر مهم در قابلیت اطمینان شبکه هوشمند شناخته شده است. سیستم‌های مدیریت انرژی خانه‌های هوشمند که راه‌اندازی وسایل برقی را با توجه به ضرورت استفاده و کارایی در اولویت قرار میدهند، نقشی حیاتی در اثربخشی استراتژی‌های پاسخ تقاضا دارند. شفاف‌سازی جزئیات مصرف برق در قبوض با وجود فناوری‌های حسگر به نظارت بهینه استفاده از لوازم خانگی کمک می‌کند. در این تحقیق، یک مدل یادگیری ماشین بدون نظارت، برای خوشه‌بندی لوازم خانگی به‌منظور مدیریت قبوض برق بر اساس ویژگی‌های ذاتی آنها مطرح گردید، چرا که بر این اساس میتوان جزئیات مصرف به ازای هر خوشه از لوازم خانگی را در قبض مصرفی دوره لحاظ کرد و به دلیل وجود خوشه‌های محدود برای لوازم خانگی امکان مدیریت و نظارت بر مصرف برق امکان پذیر میگردد. لوازم خانگی با روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی به سه خوشه طبقه‌بندی شدند. خوشه اول لوازمی است که به صلاحدید مشتری بلافاصله روشن شوند، خوشه دوم طبق برنامه زمانبندی روشن میشوند و استفاده از آنها میتواند به تعویق افتد و خوشه سوم لوازمی هستند که توسط تعداد محدودی از مشتریان ترجیح داده میشوند. ضریب silhouette بعنوان معیاری برای ارزیابی عملکرد مدل خوشه‌بندی سلسله مراتبی ایجاد شد، که مقدار ۰.۵۶ رضایت‌بخشی مدل را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، مشخص شد که روش خوشه‌بندی پیشنهادی می‌تواند با انتخاب ویژگی‌های مناسب، انواع مختلف لوازم خانگی را بطور منطقی طبقه‌بندی کند، زیرا لوازم موجود در یک خوشه شبیه به یکدیگر هستند و می‌توانند به کاربران در درک عملکرد لوازم خانگی کمک کنند.

DOI: https://doi.org/10.22075/jme.2024.28906.2359

© 2024 Published by Semnan University Press.
This is an open access article under the CC-BY 4.0 license.(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

۱-مقدمه[۱]

مدیریت مصرف انرژی در پروفایل بار سیستم شبکه برق موضوعی است که مورد توجه ویژه قرار گرفته است[۱]. چرا که با گرمایش زمین، کمبود انرژی و محدود بودن سوختهای فسیلی و تأثیرات سیاسی وابستگی انرژی کشورها، بهینه سازی روشهای بهینه ی مصرف انرژی الکتریکی مورد توجه اساسی قرار گرفته است[۲].

برای اطمینان از تامین نوسانات تقاضای بار، شرکت‌های

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: mahmood_alborzi@yhaoo.com
۱. دانشجوی دکتری، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران
۲. دانشیار، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران
۳. دانشیار، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۴. دانشیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

استناد به این مقاله:
سیمسار، شیما، البرزی، محمود، رجب زاده قطری، علی، و یزدیان ورجانی، علی. (۱۴۰۳). خوشه بندی لوازم خانگی با استفاده از مدل خوشه بندی سلسله مراتبی بر اساس ویژگی های لوازم خانگی. مدل سازی در مهندسی، ۲۲(۷۸)، ۲۹۳-۳۰۶. doi: 10.22075/jme.2024.28906.2359

خدمت‌رسان برق [۲]مجبور به نگهداری مقدار قابل توجهی از ظرفیت خود هستند. این ظرفیت مضر برای محیط زیست، اغلب منسوخ شده و هزینه‌های برق را تحت تاثیر قرار میدهد که نشان‌دهنده افزایش چشمگیر قیمت برق در ساعات اوج مصرف می‌باشد[۳].

اولین راه حلی که شاید بیان شود ساخت نیروگاه است که به دلیل افزایش آلودگی محیط زیست پیشنهاد نمی شود[۴]. در حالت کلی افزودن یک نیروگاه جدید راه حل هوشمندانه‌ای نیست، زیرا تقاضا را برای مدت زمان محدودی برآورده می‌کند و سپس منجر به هدر رفتن انرژی می‌شود[۵]. انرژی‌های تجدیدپذیر با وجود اینکه آلودگی کمتری به محیط زیست تحمیل می‌کنند[۶]، در هر منطقه جغرافیایی با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی هر منطقه قابل توسعه نیستند[۵]. شبکه هوشمند برق در پاسخ به این چالش‌ها، یک تکنولوژی در حال ظهور است که به ایفا کنندگان مختلفی در بخش‌های مختلف سیستم‌های انرژی مانند تولید، انتقال، توزیع و مشتریان برق مرتبط است. شبکه‌های هوشمند بر روی استراتژیهای پاسخ تقاضا متمرکز شده‌اند[۷]. با معرفی روزافزون لوازم خانگی هوشمند و کارآمدتر برای استفاده توسط مشتریان مختلف خانگی، نیاز به یک استراتژی استاندارد مدیریت انرژی در سطح مصرف‌کننده و تامین‌کننده، با تمرکز بر مدیریت پروفایل بار در سمت مصرف می‌باشد[۱]. اصطلاح پاسخ تقاضا به معنی تغییر در مصرف انرژی موجود از سوی مصرف کنندگان[۸] در پاسخ به مشوق‌های انگیزشی به عنوان جبران انعطاف‌پذیری آنها در زمان مصرف برقشان برای کاهش مصرف برق در ساعات پیک مصرف برق است [۹]. به منظور مدیریت مناسب پاسخ تقاضا، شرکت‌های برق از سیگنال‌های انگیزشی مختلفی مانند قیمت استفاده می کنند[۱۰].

انتظار می‌رود خانه هوشمند تغییرات بزرگی را در سبک زندگی افراد به ارمغان بیاورد. با تغییر زمان مصرف برق ساکنان، خانه هوشمند می‌تواند انعطاف‌پذیری بار را بهبود بخشد و پتانسیل قابل توجهی را برای پاسخ‌های تقاضای برق فراهم کند. این پاسخ‌ها می‌توانند به طور قابل‌توجهی شکاف‌های تقاضای برق اوج بار به غیر اوج بار و هزینه‌های برق خانگی را کاهش دهند. با این حال، میزان تأثیرات احتمالی ناشی از مشارکت خانه هوشمند در پاسخ به تقاضای برق ناشناخته باقی مانده است و تحقیقات بسیار محدودی در مورد آن انجام شده است. بنابراین، با توسعه یک مدل مدیریت یکپارچه خانه هوشمند چند هدفه میتوان به این نیاز پاسخ داد[۱۱].

با این وجود، صرفه‌جویی در مصرف برق به دلیل فقدان جزئیات دقیق مصرف برق در قبوض برق یک کار دشوار برای کاربران مسکونی است[۱۲]. امروزه با توجه به وجود فناوری حسگرها، داده‌های همه لوازم خانگی را می‌توان به راحتی جمع‌آوری کرد. با این حال، با حجم عظیمی از داده‌های استفاده از لوازم خانگی، نظارت نحوه استفاده از لوازم خانگی برای ساکنان کار آسانی نیست.

بنابراین، این تحقیق لوازم خانگی را بر اساس ویژگی‌های ذاتی آنها خوشه‌بندی کرده است، چرا که بر این اساس میتوان جزئیات مصرف به ازای هر خوشه از لوازم خانگی را در قبض مصرفی دوره لحاظ کرد و به دلیل وجود خوشه‌های محدود برای لوازم خانگی امکان مدیریت و نظارت بر مصرف برق امکان پذیر می‌گردد و از آنجایی که این خوشه‌بندی بر اساس مشخصات ذاتی خود لوازم بوده است قابلیت تعمیم به خانوارهای مختلف را دارد.

ساختار مقاله حاضر در ادامه به شرح زیر است: بخش ۲ به بررسی ادبیات و مطالعات طبقه‌بندی لوازم خانگی می پردازد. بخش ۳ ساختار داده و ورودی مدل خوشه‌بندی را بررسی می‌کند. بخش ۴ روش مورد استفاده در تحقیق را تشریح می‌کند. بخش ۵ یافته‌های مدل را نشان می‌دهد و در نهایت، تحقیق در بخش ۶ نتیجه‌گیری می‌شود.

۲-مرور ادبیات

در سیستم‌های برق سنتی، کاربران نهایی تنها به عنوان مصرف‌کنندگان غیرفعال[۳] و گیرنده‌های برق از تولید متمرکز از طریق شبکه‌های انتقال و توزیع عمل می‌کنند. با این حال، مدل سنتی به چالش کشیده شده است زیرا کاهش قیمت سیستم‌ها و باتری‌های فتوولتائیک خورشیدی (PV) در مقیاس کوچک، خانوارها و املاک تجاری را تشویق می‌کند تا ظرفیت تولید خود را در محل نصب کنند. این امر کاربران نهایی سنتی را به بخشی فعال از سیستم برق تبدیل می‌کند و عنوان تولید کننده-مصرف کننده[۴] را برای آنها به ارمغان می‌آورد بازیگرانی که در مدیریت بهینه

[2] Utility
[3] Passive consumers
[4] Prosumer

برق نقش دارند [۱۲]. به طورکلی هدف از پاسخگویی بار، کاهش مصرف برق در ساعات پیک مصرف است که در آنها قیمت خرید انرژی در بازار، بسیار بالا و یا سطح ذخیره سیستم به دلیل وقوع پیشامدهای احتمالی، پائین است[۱۳].

به جای انطباق تولید برق برای مطابقت با تغییرات تقاضا، خود تقاضا می‌تواند برای کاهش نیازهای زیرساخت‌های تولید برق بر اساس پاسخ تقاضا انعطاف‌پذیرتر شود [۱۰]. برای دستیابی به این هدف باید سیگنال مناسبی به مشتری نهایی ارسال شود تا بتواند یک موقعیت برد-برد برای مشتریان و شرکت‌های خدماتی ایجاد کند[۱۴]. سیستمهای مدیریت انرژی خانه و زیرساختهای اندازه گیری هوشمند، نقش حیاتی در مؤثر بودن استراتژیهای پاسخگویی بار در مناطق مسکونی بازی می‌کنند [۱۳].

مصرف انرژی خانگی در ساختمان‌های سبز تا حد زیادی تحت‌تاثیر رفتار ساکنین، لوازم خانگی و نحوه تعامل آنها با یکدیگر قرار دارد [۱۴]. یکی از روشهای مؤثر در مدیریت انرژی مصرفی در خانه، برنامه‌ریزی بهینه وسایل خانگی برقی است که میتواند هزینه انرژی مصرفی و تقاضای ساعات پیک را کاهش دهد [۹]. یک سیستم مدیریت بهینه انرژی خانگی[5] می‌تواند هزینه عملیاتی برق را تا ۲۳.۱٪ کاهش داده و تقاضای پیک بار مسکونی را تا ۲۹.۶٪ کاهش دهد[۱۵]. در [۱۶]، یک مدل زمان‌بندی بهینه بار لوازم خانگی برای مدیریت انرژی خانه هوشمند با در نظر گرفتن پاسخ تقاضا برای طرح‌های قیمت‌گذاری مختلف پیشنهاد شده است، این مدل صرفا بر اساس زمان استفاده[6] لوازم خانگی بوده است. در [۱۷] که به منظور ارائه چهارچوب مدیریت انرژی به منظور مدیریت بار و رضایت خانوارها می باشد، اینطور بیان شده است که در هر خانه مجموعه‌ای از لوازم خانگی وجود دارد. این لوازم به عنوان لوازم غیر قابل کنترل و لوازم قابل کنترل دسته‌بندی می‌شوند.

لوازم خانگی هوشمند بر اساس ویژگی‌های رفتاری آن‌ها به طور عمده به سه دسته بارهای ثابت که به دلیل ماهیت استفاده آنها قابلیت به تعویق انداختن را ندارند، بارهای قابل کنترل که قابلیت کنترل برای مدیریت برنامه‌های پاسخ تقاضا را دارند و دسته سوم لوازم خانگی که به عنوان باتری طبقه‌بندی شده‌اند[۱]. لوازم خانگی در ساختمان‌های مسکونی را میتوان به دو دسته لوازم خانگی انعطاف‌پذیر و لوازم خانگی غیر قابل انعطاف طبقه‌بندی کرد [۱۸]. در عصر شبکه‌های هوشمند و اینترنت اشیا، مدیریت سمت تقاضا که با هدف کاهش هزینه قبوض برق و در عین حال افزایش رضایت کاربران بوده است با برنامه‌ریزی مناسب لوازم خانگی، برای مصرف‌کنندگان مسکونی ضروری است. بدین منظور در ابتدا، وسایل برقی با توجه به ویژگی‌های عملکردی و ترجیحات کاربر به انواع وقفه‌پذیر، غیرقابل وقفه و قابل تغییر زمانی تقسیم می‌شوند [۱۹].

محققین برای به حداقل رساندن قیمت انرژی در یک طرح قیمت‌گذاری پویا به نام HEMDAS، لوازم خانگی را به سه دسته تقسیم کردند که شامل لوازم الکتریکی قابل کنترل و غیرقابل کنترل و همچنین لوازم قابل کنترل حرارتی می شود. برای هر دسته یک برنامه ارائه شده است. هدف عمده این طرح به حداقل رساندن هزینه با سطح معینی از آسایش تعریف شده توسط ساکنین است [۲۰].

لوازم خانگی با در نظر گرفتن قابلیت‌های مشابه خود یا هدف استفاده آنها، به سه دسته کلی از جمله اهداف گرمایشی (بخاری) و اهداف سرمایشی (کولر) و گروه کاربری عمومی (لباسشویی و یخچال) طبقه‌بندی می‌شوند [۲۱].

لوازم خانگی با در نظر گرفتن راحتی کاربر در خانه هوشمند و به دنبال کاهش هزینه برق مصرفی و پیک بار مصرفی نسبت به نرخ میانگین به سه دسته طبقه‌بندی شدند. دسته اول، بارهای غیر قابل تعویق که نمی‌توانند به زمان دیگری منتقل شوند. این بارها نقطه شروع و پایانی برای توصیف زمان خود دارند و مصرف‌کننده نمی‌تواند با چنین دستگاه هایی سازگار شود. دسته دوم، بارهای وقفه‌ای است که مصرف‌کنندگان می‌توانند در وسط کار برای مدت زمان محدودی برای تامین برق معلق کنند. دسته سوم بارهایی هستند که باید بلافاصله در هر زمان شروع به کار شوند. این لوازم قابل تعویق و قابل قطع شدن، نیستند. آنها باید به هر قیمتی اجرا شوند [۲۲].

به منظور طراحی سیستم مدیریت انرژی هوشمند مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر، لوازم خانگی به سه دسته قابل تحمل تاخیر، غیر قابل تحمل تاخیر با بار ضروری و قابل تحمل تاخیر با بار انعطاف‌پذیر تقسیم شدند [۲۳]. به منظور مدیریت تقاضای برق، بارهای لوازم خانگی به سه دسته تحمل‌پذیر تاخیر، تحمل‌ناپذیر تاخیر با بار ضروری و تحمل-ناپذیر تاخیر با بار انعطاف‌پذیر تقسیم شدند. برای وسایلی

[5] Home Energy Management System

[6] Time of Use

که تحمل تاخیر دارند، زمان شروع آنها را می‌توان از ساعات اوج مصرف به ساعات کم بار تغییر داد تا مقدار اوج بار کاهش یابد. لوازم خانگی تحمل تاخیر شامل اجاق گاز برقی، مایکروفر، آبگرمکن، ماشین ظرفشویی، ماشین لباسشویی، خشک‌کن لباس و ... می‌باشد. برای دستگاه Delay-Intolerant با بار اساسی، تغییر زمان شروع آنها مجاز نیست و تغییرات بار آنها بین حالت‌های مختلف معمولاً ناچیز است. لامپ‌های LED، پنکه‌ها، تلویزیون‌ها و کامپیوترها از این نوع تاخیرها هستند. در مورد دستگاه‌های Delay-Intolerable with Flexible Load، تغییر زمان شروع آنها مجاز نیست و کاربران می‌توانند حالت‌های عملکرد دستگاه خود را برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و اصلاح اوج بار تغییر دهند. این نوع لوازم خانگی شامل یخچال و دستگاه تهویه مطبوع می‌شود [۲۴].

به دنبال کسب افزایش رضایت، سه کلاس لوازم خانگی تحت عناوین لوازم خانگی وابسته به فعالیت[۷] لوازم خانگی وابسته به محل سکونت[۸]، لوازم خانگی عدم وابسته به محل سکونت[۹] را ایجاد شد و الگوریتم‌های مدل در رابطه با زمان کار کردن لوازم خانگی طراحی گردید [۲۵]. به منظور مدیریت بهینه مصرف برق لوازم خانگی به سه دسته تقسیم می شوند: ۱. وابسته به کاربر، ۲. قابل برنامه‌ریزی تعاملی و ۳. غیر برنامه‌ریزی. گروه اول نیازمندی اصلی لوازم خانگی است که مصرف انرژی بر اساس نیازهای اصلی کاربر بر اساس فاکتورهای مختلف از جمله شرایط آب و هوایی و ... است که به عنوان مثال این لوازم شامل یخچال، لامپ با روشنایی قابل کنترل و سیستم تهویه مطبوع می‌باشد. در گروه دوم لوازم خانگی قرار می‌گیرند که می‌توان آنها را در بازه زمانی T برنامه‌ریزی کرد. مقدار مصرف انرژی با در نظر گرفتن رضایت کاربر از این لوازم را می‌توان با مقدار کل انرژی مصرف شده در هر بازه زمانی اندازه‌گیری کرد. این وسایل در زمان‌های با قیمت پایین برنامه‌ریزی می‌شوند. مانند ماشین ظرفشویی. دسته سوم وسایلی هستند که مصرف انرژی ثابتی دارند، مانند لوازم خانگی مربوط به سرگرمی (تلویزیون، پخش‌کننده موسیقی و ...). حداقل و حداکثر انرژی مصرفی این وسایل به ترتیب ۰ و ۱۵۰۰ وات می باشد[۲۶]. به منظور ارائه راه‌حلی برای برنامه‌ریزی عملکرد لوازم خانگی با توجه به ویژگی‌های لوازم خانگی و همچنین راحتی مشتری، یک برنامه‌ریزی بهینه لوازم خانگی با استفاده از یک الگوریتم تعاونی بهبودیافته طراحی گردید که در آن لوازم خانگی را به دو دسته کلی لوازم خانگی قابل‌کنترل و لوازم خانگی غیر قابل‌کنترل تقسیم می‌شوند[۲۷].

روشهای موجود برای توصیف مصرف برق خانگی به طور کلی می‌توانند به چهار دسته تقسیم شوند: آماری، مهندسی؛ سری‌های زمانی و خوشه‌بندی. روش‌های آماری برای اهداف گسترده‌ای چون ToU که بیانگر مقدار و زمان استفاده (بار مسکونی، تجاری، صنعتی) هستند کاربرد دارند، اگرچه این روش برای اهداف بهینه‌سازی صورت حساب دوره مناسب است، اما در واقعیت برای چگونگی مصرف برق در خانه به صورت روزانه مناسب نیستند و صرفا نمایانگر میانگین برای کلیه مشتریان موجود در گروه موردنظر می باشند. رویکردهای مهندسی برای توصیف مشخصات بار خانگی متفاوت است ولی عموما مصرف برق را تابعی از پارامترهایی چون محل سکونت و لوازم خانگی مختلف توصیف میکنند. این روش معمولا رویکردی از پایین به بالا دارد و از آنجایی که برای هر خانوار پروفایلی ساخته می شود مشکل رویکرد آماری را ندارد ولی با این وجود روش های مهندسی برای تعمیم دشوار هستند چرا که نیاز به دانش دقیق در مورد سرنشینان خانه و زمان استفاده لوازم خانگی دارند. در مقابل رویکردهای سری زمانی برای توصیف میزان مصرف برق در سطح اپراتور می‌باشند و از آنجایی که وابسته به داده‌های تاریخی هستند محدود هستند و مانند روش‌های آماری از مشکل مشابهی مانند تجمیع پروفایل‌های متفاوت مشتریان رنج می‌برند. رویکردهای داده‌کاوی کلاسترینگ برای گروه بندی مشتریان که رفتار الکتریکی مشابهی از طریق داده‌های مصرف برق دارند، استفاده می‌شوند. به عنوان مثال در یک مطالعه تقریباً ۳۰۰۰ مشتری مسکونی طی یک دوره یک ساله با متدهای مختلف خوشه‌بندی مانند SOM، K-means و روش سلسله مراتبی برای ساختن پروفایل بار مورد بررسی قرار گرفت [۲۸].

همانطور که در ادبیات بیان شد، صرفه‌جویی در مصرف برق به دلیل فقدان جزئیات دقیق مصرف برق در قبوض برق یک کار دشوار برای کاربران مسکونی است. امروزه با توجه به وجود فناوری حسگرها، داده‌های همه لوازم خانگی را

[7] Activity Dependent Appliances
[8] Occupancy Dependent Appliances
[9] Occupancy Independent Appliances

می‌توان به راحتی جمع‌آوری کرد. با این حال، با حجم عظیمی از داده‌های استفاده از لوازم خانگی، نظارت نحوه استفاده از لوازم خانگی برای ساکنان کار آسانی نیست. تحقیق‌های مختلف به بیان طبقه‌بندی لوازم خانگی پرداختند. بنابراین، این تحقیق لوازم خانگی را بر اساس ویژگی‌های ذاتی آنها که بیانگر رفتار و زمان و نحوه استفاده از لوازم خانگی می‌باشد خوشه‌بندی کرده است چرا که بر این اساس میتوان جزئیات مصرف به ازای هر خوشه از لوازم خانگی را در قبض مصرفی دوره لحاظ کرد. علاوه بر این، به دلیل وجود خوشه‌های محدود برای لوازم خانگی امکان مدیریت و نظارت بر مصرف برق امکان پذیر می‌گردد و از آنجایی که این خوشه‌بندی بر اساس مشخصات ذاتی خود لوازم بوده است قابلیت تعمیم به خانوارهای مختلف را دارد.

۳- متدولوژی

از لحاظ تحلیلی این پژوهش جز دسته‌بندی مدل‌سازی بوده و بر اساس تقسیم‌بندی ساندرز و همکاران [۲۹] روش تحقیق این پژوهش به شرح زیر مطابق شکل (۱) می‌باشد.

۱. هدف اصلی تحقیق، ارائه مدل یادگیری ماشین بدون نظارت، برای خوشه‌بندی لوازم خانگی به منظور مدیریت قبوض، بر اساس عملکرد و ویژگی‌های لوازم می‌باشد. به همین دلیل، این پژوهش از منظر جهت‌گیری پژوهش جز تحقیقات کاربردی بوده و از نظر فلسفه پژوهش جزء تحقیقات عمل‌گرایانه[10] قلمداد می شود. چرا که ارتباط پیچیده‌ای با روش تحقیق ترکیبی دارد.

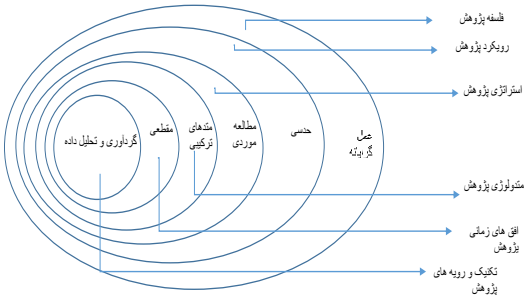
۲. از آنجایی که این تحقیق مدل‌سازی بوده و سعی در توسعه مدلی برای خوشه‌بندی لوازم خانگی بر اساس مشخصات ذاتی لوازم خانگی که در نحوه و زمان مصرف آنها تاثیرگذارند دارد، لذا این پژوهش از دسته تحقیقات حدسی[11] است.

۳. از آنجایی که این تحقیق به خوشه‌بندی لوازم برقی خانگی می‌پردازد، استراتژی این تحقیق مطالعه موردی است.

۴. این تحقیق از منظر کمی یا کیفی بودن با توجه به ماهیت داده‌های گردآوری شده، میتواند تحقیقی کیفی و از منظر رویکرد مدل‌سازانه می‌تواند کمی قلمداد شود، لذا می‌توان این تحقیق را جزء تحقیقات ترکیبی دانست.

۵. افق زمانی پژوهش مقطعی می‌باشد.

۶. این تحقیق از منظر طراحی تحقیقی میدانی و کتابخانه‌ای است. در این پژوهش برای استخراج عوامل و جمع‌آوری داده‌ها به منظور مدل‌سازی از مشاهده، مطالعه اسناد و مدارک و ادبیات موضوع استفاده شده است.



شکل ۱- پیاز پژوهش

۳-۱-ساختار داده

این تحقیق با استفاده از داده‌های مربوط به لوازم خانگی ثبت شده در وب سایت Daftlogic[12] به طبقه‌بندی لوازم خانگی مورد استفاده مشترکین خانگی بر اساس میزان و زمان مصرف و ویژگی‌های ذاتی لوازم خانگی پرداخته است. داده‌های این تحقیق توسط خبرگان که در جدول ۱ نشان داده شده است، تکمیل شد و برای خوشه‌بندی آماده گردید.

جدول ۱- لیست خبرگان

ردیف	خبره	سابقه کاری در حوزه انرژی(سال)
۱	هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی	۳۰
۲	هیات علمی دانشگاه تربیت مدرس	۲۵
۳	هیات علمی دانشگاه ارومیه	۱۸
۴	معاون خدمات مشترکین	۲۶
۵	کارشناس مدیریت مصرف	۱۷
۶	کارشناس مدیریت مصرف	۱۵
۷	کارشناس مشترکین	۱۹
۸	کارشناس مشترکین	۲۰
۹	کارشناس بازار برق	۲۲
۱۰	کارشناس میز خدمت مشترک	۱۹
۱۱	کارشناس انرژی‌های نو	۲۳
۱۲	کارشناس نظارت بر لوازم اندازه-گیری	۲۱

[10] Pragmatism
[11] Abductive research

[12] Daft Logic. (2009). Appliance Power Consumption [online]. Website https://www.daftlogic.com/information-appliance power consumption.htm [2009].

با خبرگان این حوزه که آگاهی کافی درباره عملکرد و زمان استفاده لوازم خانگی داشتند در طی ۱۲جلسه در ۳ ماه به طور متوسط ۶۰ دقیقه در جهت تبیین دقیق موضوع و بررسی مولفه‌ها و متغیرهای اصلی جلسه برگزار گردید. از آنجایی که نتیجه این خوشه‌بندی به طور مستقیم در قبوض مشترکین نمایان می‌گردد، همکاری متخصصین حوزه مشترکین توزیع نیروی برق بسیار حائز اهمیت بوده است.

بر اساس ویژگی‌های لوازم خانگی و نظر کارشناسان، داده های بیان شده در ساختار داده برای خوشه‌بندی لوازم خانگی استفاده گردید. برای خوشه‌بندی و تحلیل مدل از نرم‌افزار R استفاده شد. استراتژی خوشه‌بندی سلسه مراتبی در این تحقیق شامل چهار مرحله جمع‌آوری داده‌ها، پیش پردازش داده‌ها، خوشه‌بندی و تشخیص مدل یا الگو می‌باشد. روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی برای حل این مشکل مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت، ارزیابی نتایج خوشه‌بندی با ضریب silhouette انجام شد.

۴- خوشه‌بندی

۴-۱- انتخاب مشخصه خوشه‌بندی

تکنیک خوشه‌بندی موجودیت‌ها را بر اساس شباهت یا عدم شباهت گروه‌بندی می‌کند، به طوریکه شباهت و عدم شباهت بر اساس ویژگی‌های مورد استفاده برای توصیف اشیا ارزیابی می‌شود[۳۰]. در نتیجه، از آنجایی که خوشه-بندی بر اساس تشابه ویژگی‌هایی که موجودیت‌ها را توصیف می‌کنند تعیین می‌شود، انتخاب ویژگی‌های مناسبی که بتواند به شناسایی گروه‌های مختلف کمک کند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۳۱]. همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است، این ویژگی‌ها منجر به عملکرد متفاوت در زمان‌های مختلف در مدل می‌شود.

جدول ۲- مشخصه‌های لوازم برقی خانگی

نوع شرایط جوی	روزهای استفاده	زمان استفاده	نوع آب و هوا	قابلیت تغییر زمان‌بندی استفاده از دستگاه	قابلیت تغییر شرایط دستگاه	نوع کار کردن دستگاه	قابلیت استفاده توسط عموم مردم	نوع استفاده	مقدار مصرف
۱.ابری	تعطیل	شب	سرد	بلی	بلی	۱.پیوسته	بلی	۱.شخصی	کیلو وات ساعت در سال
۲.بارانی	غیر تعطیل	روز	گرم	خیر	خیر	۲.توقف در صورت تمایل	خیر	۲.خانوادگی	
۳.افتابی									

۴-۲-خوشه‌بندی سلسله مراتبی

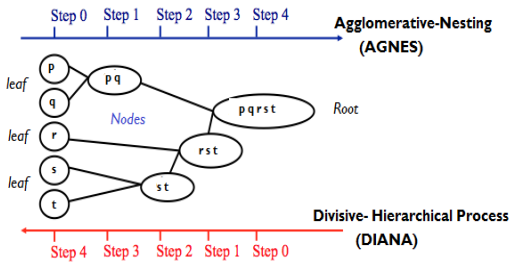
تکنیک‌های خوشه‌بندی متعددی وجود دارد که می‌توان با آنها در مرور ادبیات مواجه شد. بسیاری از الگوریتم‌های خوشه‌بندی مورد استفاده را می‌توان به عنوان خوشه‌بندی سلسله مراتبی بیان کرد [۳۲].

الگوریتم خوشه‌بندی سلسله مراتبی (HCA[13]) یک تکنیک خوشه‌بندی بدون نظارت است که موجودیت‌ها را بر اساس شباهتشان به خوشه‌ها تقسیم می‌کند. الگوریتم‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی تقسیم‌کننده (DIANA[14]) و تجمعی(AGNES[15]) نیازی به تعیین تعداد خوشه k به عنوان ورودی ندارد، اما به راهی برای محاسبه فاصله بین خوشه‌ها نیاز دارد[۳۳]. در این تحقیق از آنجایی که تعداد خوشه‌های موجود در لوازم خانگی به عنوان ورودی مدل مشخص نبوده است و متغیرهای متفاوتی در تعیین تعداد خوشه‌ها تاثیر داشته‌اند، از الگوریتم خوشه‌بندی سلسله مراتبی استفاده شده است. فاصله کسینوسی برای محاسبه فاصله بین دو خوشه استفاده می‌شود، نتیجه آن یک نمودار دندروگرام است که یک نمودار سلسله مراتبی از خوشه‌ها می‌باشد که در آن هر خوشه از خوشه‌های دیگر متمایز است و موجودیت‌های درون هر خوشه به طور کلی با یکدیگر قابل مقایسه هستند [۳۴].

همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است، رویکرد از بالا به پایین از ریشه به برگ به عنوان خوشه‌بندی تقسیمی سلسله مراتبی (DIANA) شناخته می‌شود در حالی که برعکس به عنوان رویکرد از پایین به بالا یا فرآیند خوشه بندی تجمعی (AGNES) نامیده می‌شود.

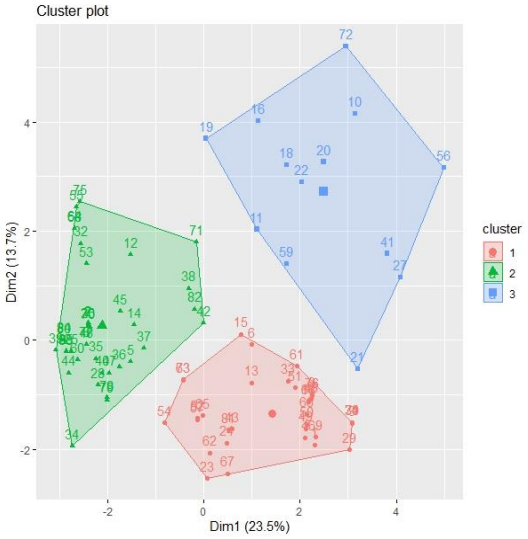
[13] Hierarchical Clustering Algorithm
[14] DIvisie ANAlysis
[15] AGglomerative NESting

دندروگرام‌هایی با سطوح مختلف که در نتیجه تقسیم خوشه‌های سطح بالاتر ایجاد شده‌اند، نمونه‌های معمول از فرآیند خوشه‌بندیDIANA هستند. خوشه‌بندی تجمعی معمولاً با یک نقطه داده اولیه شروع می‌شود و دو یا چند خوشه را به روش بازگشتی ادغام می‌کند. خوشه‌بندی سلسله مراتبی تقسیمی برعکس خوشه‌بندی سلسله مراتبی تجمعی است، زیرا از یک خوشه بزرگ شروع می‌شود و سپس این خوشه را به صورت بازگشتی به خوشه‌های کوچکتر تقسیم می‌کند [۳۵].



شکل۲- انواع نمودار خوشه‌بندی سلسله مراتبی

در این تحقیق با توجه به ویژگی‌های مطرح شده و نبود تعداد خوشه به عنوان ورودی، برای خوشه‌بندی سلسه مراتبی ابتدا به روش DIANA سپس AGNES داده‌های مربوط به لوازم خانگی تحلیل گردید.



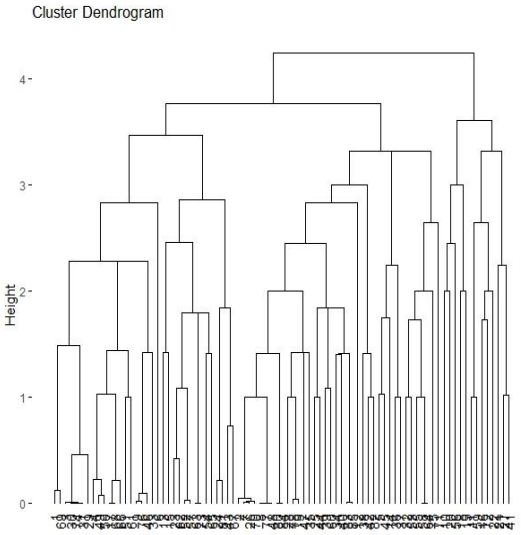
شکل ۳- نمودار خوشه‌بندی سلسه مراتبی DIANA

۴-۲-۱- نتیجه خوشه‌بندی به روش DIANA

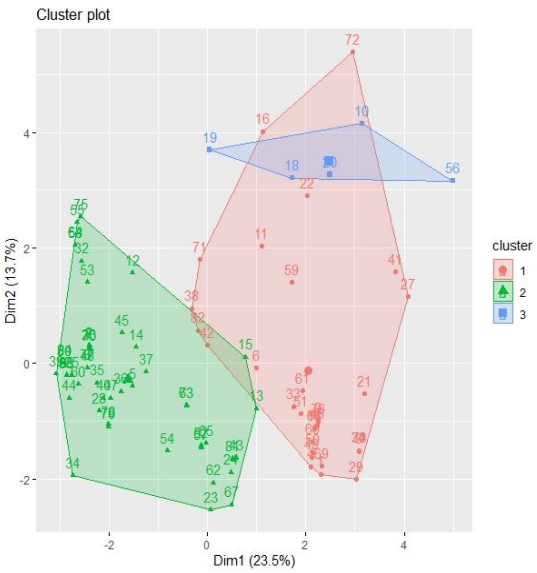
نتایج خوشه‌بندی روش تقسیمی در شکل (۳) به عنوان خوشه‌بندی داده‌ها به روش DIANA و شکل (۴) نمودار دندروگرام مربوط به روش DIANA نمایش داده شده است.

۴-۲-۲- نتیجه خوشه‌بندی به روش AGNES

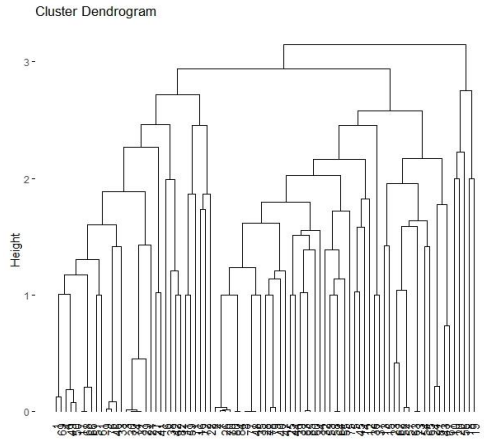
نتایج خوشه‌بندی روش تجمیعی در شکل (۵) به عنوان خوشه‌بندی داده‌ها به روش AGNES و شکل (۶) نمودار دندروگرام مربوط به روش AGNES نمایش داده شده است.



شکل۴- نمودار دندروگرام خوشه‌بندی DIANA



شکل۵- نمودار خوشه‌بندی سلسه مراتبی AGNES



شکل۶- نمودار دندروگرام خوشه‌بندی AGNES

۴-۲-۳- اعتبار سنجی خوشه‌بندی سلسه مراتبی

مدل‌های خوشه‌ای ایجاد شده (AGNES ، DIANA) بر اساس دندروگرام‌های تولید شده مقایسه می‌شوند. یک جفت مدل خوشه‌بندی در یک نمودار تحت عنوان TANGLEGRAM نمایش داده می‌شوند. TANGLEGRAM برای مقایسه نمودارهای درختی استفاده می‌شود. این نمودار کیفیت تراز دو دندوگرام را اندازه‌گیری می‌کند [۳۶].

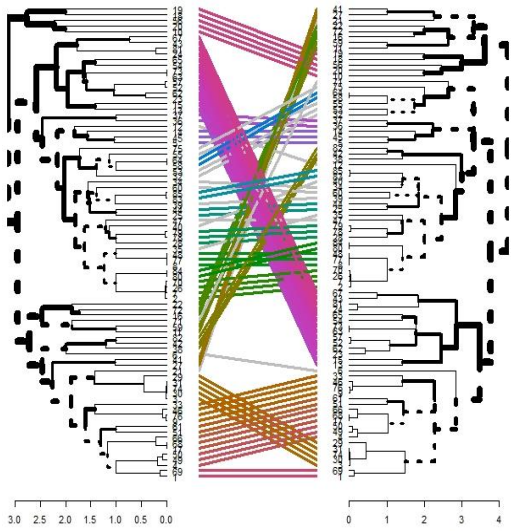
خطوط موازی که در شکل (۷) نشان داده شده‌اند بیانگر اعتبار مدل می‌باشند، این بدان معنی است که دو عضوی که در یک فاصله از یکدیگر قرار دارند در نمودار دیگر نیز در همان فاصله قرار دارند.

$$c = \mathrm{cor}\left(h_1(ij), h_2(ij)\right) \qquad (۱)$$

اگر ضریب همبستگی فواصل h(ij) را برای هر یک از دو نقطه i , j که در یک خوشه قرار دارند محاسبه کنیم، مقادیر بیشتر به دست آمده شباهت دو روش خوشه‌بندی را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی پیرسون دو روش خوشه‌بندی DIANA و AGNES در این تحقیق ۰.۸۵ است که نشان‌دهنده اعتبار خوشه‌بندی است.

۴-۳-کارایی خوشه‌ها

در این تحقیق، برای سنجش کیفیت خوشه‌بندی از روش silhouette coefficient استفاده گردیده است.



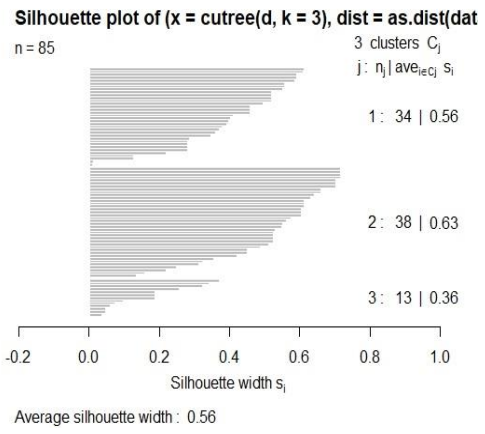
شکل۷- نمودار TANGLEGRAM برای خوشه‌بندی DIANA و AGNES

۴-۳-۱- ضریب silhouette coefficient

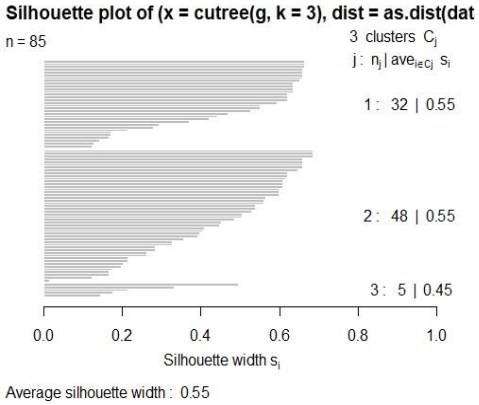
ضریب silhouette coefficient که برای اولین بار توسط Peter J. Rousseeuw پیشنهاد شد روشی است که نشان می‌دهد هر موجودیت در خوشه خود به خوبی قرار گرفته است [۳۷]. ضریب silhouette به شرح زیر تعریف می‌شود:

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max\left(b(i), a(i)\right)} \qquad (۲)$$

در حالی که i یک نقطه دلخواه در بین داده‌ها می‌باشد، a(i) میانگین فاصله نقطه i از همه موجودیت‌ها در خوشه خودش، b(i) حداقل فاصله متوسط نقطه i از نقاط در خوشه‌های دیگر است. مقدار ضریب silhouette coefficient بین ۱و ۱- می‌باشد. مقادیر مثبت silhouette coefficient به معنای این است که خوشه‌ای که شامل i است از خوشه‌های دیگر دورتر است در حالی که مقادیر منفی silhouette coefficient به معنای این است که i به موجودیت‌های خوشه دیگر نزدیک‌تر می‌باشد تا به خوشه خود. در حالت کلی هر چه مقادیر silhouette coefficient بزرگتر باشند بهتر است و مقدار ۱ به معنی شرایط فوق العاده مناسب می‌باشد.



شکل۸- نمودار silhouette برای خوشه‌بندی DIANA



شکل۹- نمودار silhouette برای خوشه‌بندی AGNES

همانطور که در شکل (۸) و شکل (۹) مشخص است نتیجه ۰.۵۶ ضریب silhouette بیانگر عملکرد رضایت‌بخش مدل با الگوریتم سلسله مراتبی می‌باشد. به همین منظور از نتیجه خوشه‌بندی به روش سلسله مراتبی برای شناسایی خوشه‌ها استفاده شده است.

۵- بررسی یافته‌ها

شناسایی خوشه‌های مختلف برای کاربران مهم است زیرا نحوه عملکرد لوازم خانگی را به عنوان خوشه‌های مختلف توضیح می‌دهد. لوازم خانگی با استفاده از خوشه‌بندی سلسله مراتبی، بر اساس ویژگی‌های خود لوازم، که در جدول ۲ نشان داده شده است، خوشه‌بندی شدند. در این روش، لوازم خانگی به سه خوشه طبقه‌بندی شدند که پس از آن ضریب سیلوئت به عنوان معیار عملکرد توسعه یافت. مقدار ضریب silhouette، نشان می‌دهد که هر خوشه با خوشه‌های دیگر متفاوت است.

نتایج خوشه‌بندی نشان می‌دهد که روش خوشه‌بندی پیشنهادی می‌تواند با انتخاب ویژگی‌های مناسب، انواع مختلف لوازم خانگی را به طور منطقی طبقه‌بندی کند چرا که لوازمی که در یک خوشه قرار دارند شباهت بسیاری از نظر مشخصات تعریفی دارند. همانطور که در جدول ۳ گزارش شده است، لوازمی که در خوشه اول قرار دارند جز لوازم خانگی ضروری در منزل بوده که یا همیشه روشن هستند مانند تلفن یا باید بلادرنگ با صلاحدید مصرف‌کننده شروع به کار کنند، مانند لامپ. اینها بارهای پایه‌ای هستند. این لوازم بیشتر شامل لوازم برقی هستند که در آشپزخانه مورد استفاده قرار میگیرند یا جز لوازم مربوط به تهویه مطبوع هستند که بر اساس مشخصات جدول شماره دو به آب و هوا و شرایط جوی وابسته‌اند و توسط عموم مردم مصرف می‌شوند. مانند اجاق گاز، کولر، آب گرم‌کن و غیره. لوازمی که در خوشه دوم قرار دارند لوازم برقی هستند که می‌توان آنها را بر اساس تصمیمات بهینه در زمان بهینه تعریف شده برنامه‌ریزی کرد، مانند لباس‌شویی، شارژر خودرو برقی خانگی، پرینتر و غیره. این لوازم قابلیت ایجاد وقفه و تعویق دارند و میتوان زمان مصرف آنها را به زمانی غیر از زمان پیک شیفت داد، که بر آن اساس برق کمتری مصرف کرد، اگر کاربر اصرار به مصرف این لوازم در زمان پیک داشته باشد میتوان قیمت بالاتری برای این لوازم پرداخت کرد، مصرف این لوازم به شرایط جوی و آب و هوایی وابسته نیست. عمومیت مصرف این لوازم از دسته سوم بیشتر بوده و نسبت به دسته اول از عمومیت کمتری برخوردار است. لوازم خانگی که در خوشه سوم قرار گرفته اند جز لوازم خانگی غیر ضروری هستند که جنبه تفریحی دارند که از نیازمندی های ضروری خانه نیستند. می‌توانند حذف یا جایگزین شوند یا در اولویت‌های پایین‌تری شروع به کار کنند، استفاده این لوازم نیز به شرایط جوی بستگی نداشته و توسط عموم مردم مصرف نمی‌شوند. مانند دستگاه‌های دمنده برگ، خشک‌کن، دریل، موپیچ، پتو برقی، ماشین چمن‌زنی برقی، اره برقی، جکوزی و ... داد.

جدول ۳- نتایج خوشه‌بندی لوازم برقی خانگی

خوشه ۳	خوشه ۲	خوشه ۱
خشک‌کن	تصفیه‌کننده هوا	کولرگازی ۶۰۰۰ BTU
دمنده برقی	حوله خشک‌کن	کولر
مو پیچ	قهوه‌ساز	رسیور تلویزیون
دریل	کامپیوتر	پنکه سقفی
پتو برقی	شارژر دریل	هود روکار آشپزخانه
دمنده برقی	مرطوب‌کننده	زودپز
ریش تراش	ظرف شویی	آب گرم کن
کنسول بازی	ساعت	اجاق برقی
جکوزی	اسپرسو ساز	لامپ کم‌مصرف
اره برقی	شارژر ماشین	کولر آبی
مو صاف‌کن	لپ‌تاپ	هواکش
چمن‌زن	مایکروویو	پنکه
آب‌نما	موتورخانه منقطع	یخچال A+
	پروژکتور	سرخ کن
	آرام پز	در باز کن گاراژ
	مرطوب کننده	لامپ هالوژنی
	اتو	هیتر
	کتری برقی	تلوزیونLCD
	پرینتر	تلوزیونLED
	شارژر موبایل	رسیورMI Box
	مبدل برق	موتورخانه پیوسته
	کاغذ خورد کن	چراغ خواب
	دوش برقی	فر
	پلو پز	ساندویچ ساز
	اسکنر	بخاری برقی
	چرخ خیاطی	استریو
	آرام پز چند منظوره	هود تو کار اجاق گاز
	استریل کننده	توستر
	تردمیل	پنکه ایستاده
	جارو برقی	آب گر کن خانواده ۴ نفره
	لباس شویی نوع A	پمپ آب پر فشار
	لباس شویی نوع B	پمپ آب کم فشار
	آب سرد کن	WiFi
	سشوار	تلفن
	بیگودی	
	دستگاه ضبط DVD	
	دستگاه پخش DVD	
	مخلوط کن همزن	

۶-نتیجه‌گیری

پاسخ تقاضا یکی از عوامل اساسی شبکه‌های هوشمند است. برای افزایش کارایی پاسخگویی به تقاضا، یک سیستم کنترل هوشمند لوازم خانگی ضروری است که راه‌اندازی لوازم خانگی را با توجه به ضرورت استفاده و کارایی در اولویت قرار می‌دهد. همانطور که در ادبیات بیان شد، هدف اصلی سیستم کنترل هوشمند لوازم خانگی، کاهش هزینه-های مربوط به مصرف برق می‌باشد. بدین منظور شفاف-سازی جزئیات مصرف برق در قبوض با وجود فناوری‌های حسگر به نظارت بهینه نحوه استفاده از لوازم خانگی کمک می‌کند. بر اساس مطالعات انجام شده مطرح گردید تحقیق-های مختلف به بیان طبقه‌بندی و دسته‌بندی لوازم خانگی به منظور مدیریت بهینه سمت تقاضا پرداختند. این تحقیق-ها لوازم خانگی را بر اساس عملکرد استفاده آنها به منظور زمان‌بندی مختلف و اولویت‌بندی مصرف لوازم خانگی تقسیم‌بندی کردند. در این تحقیق، یک مدل یادگیری ماشین بدون نظارت، برای خوشه‌بندی لوازم خانگی به منظور مدیریت قبوض، بر اساس عملکرد و ویژگی‌های لوازم پیشنهاد شد که از آنجایی که خوشه‌بندی بر اساس ویژگی-های خود لوازم است، می‌توان آن را با تغییرات بین مشتریان توصیف کرد. این ویژگی‌ها شامل مقدار مصرف هریک از لوازم خانگی استفاده شده، نوع استفاده از لوازم خانگی، نحوه عملکرد لوازم خانگی، قابلیت تغییر شرایط کاری لوازم خانگی، زمان استفاده از لوازم خانگی و ... می‌باشد. این مشخصه‌ها در مقایسه با مرور ادبیات بر اساس ویژگی‌های مختلف لوازم خانگی بوده که به صورت جامع هم شامل فاکتورهای عملکردی هم مشخصه‌های ذاتی می‌باشد. در این تحقیق همچنین با درنظر گرفتن این فاکتورها، مدل به خوشه‌بندی لوازم پرداخته که با بررسی مدل مشخص شد که روش طبقه‌بندی پیشنهادی می‌تواند لوازم خانگی را طبقه‌بندی کند، زیرا لوازم خانگی در یک خوشه بسیار شبیه به یکدیگر هستند و می‌توانند به کاربران در درک شرایط عملکرد لوازم خانگی کمک کنند. نتایج این تحقیق با تحقیقات صورت گرفته در مرور ادبیات همراستا می‌باشد ولی از آنجایی که این مدل برای خانوارهای هوشمند طراحی گردیده است، میتوان با اضافه کردن لوازم خانگی جدید به صورت سیستماتیک خوشه بندی لوازم بر اساس مشخصات ذاتی لوازم انجام شده و مدیریت بهینه لوازم خانگی جدید نیز برای خانوار هوشمند طراحی گردد. بر این اساس می‌توان مدیریت بهینه مصرف برق در شبکه هوشمند را با قیمتی متفاوت برای هر خوشه لوازم خانگی در مطالعات آینده بررسی کرد. این روش برای سیستم‌های شبکه هوشمند مفید است، چرا که می‌توان با در نظر گرفتن قیمتی متفاوت به ازای هر خوشه‌ی لوازم خانگی در یک تحقیق، به عنوان راه‌حلی در کنار روش‌های موجود چون زمان استفاده هر یک از لوازم خانگی برای نظارت و مدیریت مصرف هریک از لوازم خانگی موجود ارائه کرد. تعیین قیمت متفاوت برای هر خوشه رویکردی نوین در مدیریت بهینه مصرف برق در شبکه هوشمند می‌باشد، به طوری که به جای تطبیق تولید برق برای مطابقت با تغییرات تقاضا، خود تقاضا برای کاهش نیازمندی-های مربوط به زیر ساخت تولید برق انعطاف‌پذیرتر شود. پیشنهاد کاربردی تحقیق میتواند در قالب پیشنهاد اجرایی برای تمام شرکت‌های توزیع برق باشد، به طوری که: ۱. با راه‌اندازی سیستم کنترل هوشمند لوازم خانگی در هر مشترک، شرکت‌های توزیع برق میتوانند پنل مخصوص برای هر مشترک طراحی کرده و جزئیات مصرف به ازای هر خوشه از لوازم خانگی را نمایان سازند. خوشه‌های لوازم خانگی میتواند در قالب سه خوشه ارائه شده (لوازم خانگی ضروری، لوازم با قابلیت تعویق، لوازم غیرضروری) در این تحقیق باشد. ۲. مقدار مصرف این خوشه‌ها در قبض ارائه شده نشان داده شود تا مصرف کننده مقدار مصرف هر یک از این خوشه‌ها را در قبض دریافتی مشاهده کند و بر این اساس بر جزئیات مصرف خود نظارت کند ۳. طراحی پنل مخصوص منجر به در نظر گرفتن قیمتی متفاوت به ازای هر خوشه شده و قیمت محاسبه شده در قبض دوره مشترکین لحاظ گردد. ۴. از آنجایی که تعداد خوشه‌ها محدود می‌باشد، امکان مدیریت و نظارت مشترکین بر مصرف برق بالا رفته و شرکت برق میتواند با تعیین سیاست‌های تشویقی و تنبیهی برای هر مشترک، همکاری مصرف‌کنندگان در مدیریت پیک بار را بالا برد. به عنوان مثال برای لوازم خانگی که در خوشه ۲ قرار میگیرند و قابلیت به تعویق افتادن دارند، مصرف در زمان پیک بار بیشتر از زمان غیر پیک بار در نظر گرفته شود تا مصرف در زمان پیک به غیر پیک انتقال یابد.

۷-پیشنهاد تحقیقات آتی

تعیین قیمت مناسب برای هر خوشه از لوازم خانگی تعیین شده در این تحقیق می‌تواند به عنوان یک پژوهش برای تحقیقات آتی در نظر گرفته شود.

مراجع

[1] S. Subhasis, S. Mohanty, P.K. Rout, B.K. Sahu, M.Bajaj, H.M. Zawbaa, and S. Kamel. "Residential Demand Side Management model, optimization and future perspective: A review." *Energy Reports* 8, (2022): 3727-3766.

[2] P. Siano. "Demand response and smart grids –a survey." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30, (2014): 461-478.

[3] M. Muratori, B.A. Schuelke-Leech, and G. Rizzoni. "Role of residential demand response in modern electricity markets." *Renew Sustain Energy Rev* 33, (2014): 546-553.

[4] C. Delmastro, E. Lavagno, and G. Mutani. "Chinese residential energy demand: scenarios to 2030 and policies implication." *Energy Build* 89, (2015): 49-60.

[5] H.T. Haider, O.H. See, and W. Elmenreich. "A review of residential demand response of smart grid." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 59, (2016): 166-178.

[6] S. Ahmadi, and S.M.T. Bathaee. "Modeling and simulation of Energy managements for fuel cell hybrid vehicle." *Journal of Modeling in Engineering* 15, no. 50 (2017): 1-16.

[7] X. Xue, S. Wang, Y. Sun, and F. Xiao. "An interactive power demand management strategy for facilitating smart grid optimization." *Appl Energy* 116, (2014): 297–310.

[8] P. Warren. " A review of demand-side management policy in the UK." *Renew Sustain EnergyRev* 29, (2014): 941-951.

[9] M.S. Ahmed, A. Mohamed, T. Khatib, H. Shareef, R.Z. Homod, and J.A. Ali. "Real time optimal schedule controller for home energy management system using new binary backtracking search algorithm." *Energy and Buildings* 138, (2017): 27-215.

[10] M. Muratori, and G. Rizzoni. "Residential Demand Response: Dynamic Energy Management and Time-Varying Electricity Pricing." *IEEE Transactions on Power Systems* 31, no. 2 (2016): 1108-1117.

[11] B. Yu, F. Sun, C. Chen, G. Fu, and L. Hu. "Power demand response in the context of smart home application." *Energy* 240, (2022): 122774.

[12] S. Wilkinson, K. Hojckova, C. Eon, G.M. Morrison and B. Sandén. "Is peer-to-peer electricity trading empowering users? Evidence on motivations and roles in a prosumer business model trial in Australia." *Energy Research & Social Science* 66, (2020): 101500.

[13] M. Alizade, M. Jaafari, and Y. Soltan Moradi. "Smart home optimized energy management considering energy storage, solar cell, electric vehicle and load response." *Journal of Modeling in Engineering* 17, no. 57 (2019): 215-226. (in Persian)

[14] Y. Leroy and B. Yannou. "An activity-based modeling framework for quantifying occupants' energy consumption in residential buildings." *Computers in Industry* 103, (2018): 1-13.

[15] P. Wang, Zh. Zhang, L. Fu, and N. Ran. "Optimal design of home energy management strategy based on refined load model." *Energy* 218, (2021): 119516.

[16] H.T. Haider, D.H. Muhsen, Y.M. Al-Nidawi, T. Khatib, and O.H. See. "A novel approach for multi-objective cost-peak optimization for demand response of a residential area in smart grids." *Energy* 254, Part B, (2022): 124360.

[17] Y. Deng, F. Luo, Y. Zhang and Y. Mu. "An efficient energy management framework for residential communities based on demand pattern clustering." *Applied Energy* 347 (2023): 121408.

[18] M.Z. Oskouei, B.M. Ivatloo, M. Abapour, A.A. Moghaddam, and H.Mehrjerdi. "Practical implementation of residential load management system by considering vehicle-for-power transfer: Profit analysis." *Sustainable Cities and Society* 60 (2020): 3102144.

[19] Y. Liu, H. Li, J. Zhu, Y. Lin and W. Lei. "Multi-objective optimal scheduling of household appliances for demand side management using a hybrid heuristic algorithm." *Energy* 262, Part A (2023): 125460.

[20] E. Shirazi and S.H. Jadid. "Optimal residential appliance scheduling under dynamic pricing scheme via HEMDAS." *Energy and Buildings* 93 (2015): 40-49.

[21] S. Javaid, N. Javaid, M.S. Javaid, S. Javaid, U. Qasim, and Z. Ali Khan. " Optimal scheduling in smart homes with energy storage using appliances super-clustering." *10th International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing, Fukuoka, Japan*, p. 342-348. 2016.

[22] Z. Iqbal, N. Javaid, S. Iqbal, S.H. Aslam and Z. Ali Khan. " A Domestic Microgrid with Optimized Home Energy Management System." *Energies* 11, no. 4 (2018).

[23] M. Li, G.Y. Li, S. Iqbal, H.R. Chen and C.W. Jiang. "QoE-Aware Smart Home Energy Management Considering." *Energies* 11, no. 9 (2018).

[24] N.U. Hassan, Y.I. Khalid, C. Yuen, S. Huang, and M.A. Pasha. " Framework for minimum user participation rate determination to achieve specific demand response management objectives in the residential smart grids." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 74, (2016): 91–103.

[25] M. Danish, N. Javaid, N. Alrajeh, Z. Ali Khan, U. Qasim, I. Ahmed, and M. Ilahi. "Realistic Scheduling Mechanism for Smart Homes." *Energies* 9, no. 3 (2016): 202.

[26] M.B. Rasheed, N. Javaid, A. Ahmad, M. Jamil and Z. Ali Khan. "Energy Optimization in Smart Homes Using Customer Preference and Dynamic Pricing." *Energies* 9, no. 8 (2016).

[27] Z. Zhu, Y. Lin, W. Lei, Y. Liu and M. Tao. "Optimal household appliances scheduling of multiple smart homes using an improved cooperative algorithm." *Energy* 171, (2019): 944-955.

[28] F. McLoughlin, A. Duffy, and M. Conlon. "A clustering approach to domestic electricity load profile characterisation using smart metering data." *Energy* 141, (2015): 190-199.

[29] M. Saunders, P. Lewis, and A. Thornhill. Research Methods for Business Students. 5th ed., Financial Times Prentice Hall press, 2009.

[30] M. Alborzi and M. Alikhani. Machine Learning. Sharif University of Technology Scientific Publication, 2018. (in Persian)

[31] Z. Wang and R.S. Srinivasan. "Classification of Household Appliance Operation Cycles: A Case-Study Approach." *Energies* 8, no. 9 (2015): 10522-10536.

[32] S.H. Abudalfa and M. Mikki. "K-means algorithm with a novel distance measure." *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences* 21, no. 6 (2013): 1665-1684.

[33] G. Chhabra, V. Vashisht, and J. Ranjan. "Crime Prediction Patterns Using Hybrid K-Means Hierarchical Clustering." *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems* 11, (2019): 1249-1258.

[34] C. Semeraro, M. Lezoche, H. Panetto and M. Dassisti. "Digital twin paradigm: A systematic literature review." *Computers in Industry* 130, (2021).

[35] D. Chris and He. Xiaofeng. "Cluster Merging and Splitting in Hierarchical Clustering Algorithms." *ICDM '02: Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Data Mining*, 2002.

[36] J. Tamas. "Hierarchical Clustering based on IndoorGML Document." *IEEE 2019 15th International Scientific Conference on Informatics, Poprad, Slovakia*, p. 177-182, 2019.

[37] Z. Wang and Ravi S. Srinivasan. "Classification of Household Appliance Operation Cycles: A Case-Study Approach." *Energies* 8, no. 9 (2015): 10522-10536.