ارائه روشی تطبیقی مبتنی بر تئوری گراف برای ارزیابی میزان اثرپذیری مشترکین در نتیجه مشارکت در پاسخگویی بار

محسن کجوری نفت‌چالی[1] ، کارشناسی ارشد، علیرضا فریدونیان[2]، استادیار ، حمید لسانی[3]، استاد

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه تهران- تهران- ایران
Kojury.savadkoohnaft@gmail.com
۲- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تهران- ایران
fereidunian@eetd.kntu.ac.ir
۳- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه تهران - تهران- ایران
lesani@ut.ac.ir

چکیده: هدف این مقاله ارائه‌ی روندی کارآمد به‌منظور دسته‌بندی و رده‌بندی مشترکین در شبکه توزیع از جنبه میزان اثرپذیری آنها در نتیجه‌ی مشارکت در برنامه پاسخگویی بار است. این چالشی است که علی‌رغم انجام مطالعات قابل ملاحظه در زمینه پاسخگویی بار مغفول مانده است. به ویژه این چالش زمانی برجسته‌تر می‌شود که به تاثیر پاسخگویی بار در بهره‌وری و مدیریت انرژی در شبکه برق توجه شود. همچنین تاکیدی که نویسندگان این مقاله دارند توجه به قابلیت‌ها و داده‌هایی است که توسط زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته (AMI) در اختیار قرار می‌گیرد و کارایی مناسبی که روی پیاده‌سازی برنامه‌های مدیریت سمت مصرف دارد. ابزار این دسته‌بندی, علاوه بر تکنیک‌های معمول مورد استفاده در پردازش داده، ترکیبی از الگوریتم‌های خوشه‌بندی طیفی، تئوری گراف و همچنین مفهوم آنتروپی می‌باشد. این مقاله دارای دو بخش است، در بخش اول، مشترکین با اثرپذیری بالاتر شناسایی شده و مدل‌ها و الگوهایی برای شناسایی آنها ساخته می‌شود. در این بخش در دو فاز با استفاده از ویژگی‌هایی که برای هرکدام از مشترکین در نظر گرفته می‌شود، با پیاده‌سازی پاسخگویی بار، دسته‌بندی توسط خوشه‌بندی طیفی و تئوری گراف انجام می‌گیرد. در بخش دوم نیز مدل‌های ساخته شده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای ارزیابی روند پیشنهادی از یک مجموعه داده مصرفی واقعی AMI مربوط به کشور ایرلند استفاده شده است. نتایج مربوط به پیاده‌سازی پاسخگویی بار نشان می‌دهد که رده‌بندی مشترکین براساس میزان اثرپذیری آنها به‌طورقابل قبولی انجام گرفته است.

واژه‌های کلیدی: مدیریت سمت مصرف، پاسخگویی بار، زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته (AMI)، داده‌کاوی، تئوری گراف، خوشه‌بندی طیفی

تاریخ ارسال: ۱۳۹۶/۰۳/۱۲

تاریخ پذیرش:۱۳۹۶/۱۰/۱۲

نام نویسنده‌ی مسئول : علیرضا فریدونیان

نشانی نویسنده‌ی مسئول : تهران، بزرگراه رسالت، سید خندان، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1396.6.2.7.6]

۱- مقدمه

یکی از نکات مهمی که امروزه به یکی از بزرگترین چالش‌های صنعت برق تبدیل شده است موضوع افزایش قابل توجه در میزان مصرف انرژی الکتریکی و نیاز روزافزون به آن است [۱]. بخشی از این نیازها با توسعه مراکز تولیدی رفع شده اما از لحاظ اقتصادی نمی‌توان تمامی این نیازها را از این طریق پوشش داد. همین مسئله سبب معرفی مفاهیمی ازجمله مدیریت سمت مصرف شده است [۴]. توجه به این نکته که در حدود ۴۰٪ از هزینه‌ها و بهره‌برداری‌ها در شبکه برق مربوط به بخش توزیع است [۲] و همچنین ظرفیت‌های بالقوه‌ای که این بخش برای برنامه‌های مدیریت انرژی داراست [۳] سبب توجه سهم قابل اعتنایی از مطالعات به این بخش از شبکه شده است. برنامه-های مدیریت سمت مصرف با جابجا نمودن مصرف مشترکین در طول ساعات مختلف و یا کاهش میزان مصرف در ساعاتی خاص یا بهره-گیری از تجهیزات و وسایل با کارایی بیشتر و.... برای اهداف مختلفی از قبیل افزایش بهره‌وری در صنعت برق، بهره‌برداری بهتر از شبکه، برنامه‌ریزی برای آینده و .... مورد استفاده قرار می‌گیرند.

از جمله معروف‌ترین و کاربردی‌ترین این برنامه‌ها، پاسخگویی بار است که در دو شکل پاسخگویی بار مبتنی بر قیمت و مبتنی بر زمان پیاده-سازی می‌شود [۷]. از گونه‌های مختلف این برنامه، آثار پیاده‌سازی آنها و سایر مطالب مرتبط با آن نکات قابل قبولی در مقالات مختلف بیان شده است. در این میان می‌توان به مراجع [۷]و[۸] اشاره نمود که شکل‌های مختلف برنامه پاسخگویی بار را معرفی و آثار پیاده‌سازی آن را بررسی نموده‌اند. نکته‌ای که نباید از آن غافل بود اینکه ورود مشترکین به معادلات شبکه و بازار نیازمند وجود زیرساخت ارتباطی مناسبی است که قادر باشد ارتباط دوسویه مناسبی را میان هرکدام از بخش‌های شبکه ایجاد نماید. همچنین مطابق ادبیات مفهوم پاسخگویی بار، مسلم است که پیاده‌سازی مناسب آن و رسیدن به عملکرد نزدیک به زمان واقعی مستلزم وجود مجموعه داده‌های با دقت بالا و از گونه‌های مختلف می‌باشد. درک این نیاز در سال‌های اخیر منتج به طراحی، معرفی و پیاده‌سازی زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته* (AMI) شده است. AMI با ایجاد یک بستر ارتباطی دوسویه میان مصرف‌کنندگان، تولیدکنندگان و همچنین سایر قطب‌ها و فعالان فضای بازار برق کنونی امکان پیاده‌سازی برنامه‌های گوناگون ازجمله برنامه‌های مدیریت مصرف را به شکلی مطلوب فراهم آورده است. اغلب چنین برنامه‌هایی از یکسو نیازمند تبادل اطلاعات با دقت و سرعت بالا و از سوی دیگر تبادل داده‌های جدید فراتر از داده‌های سنتی در سطح شبکه هستند که حاصل فضای جدید بازار برق است. AMI برای هردوی این نیازها راهکاری قابل قبول می‌باشد. اطلاعات با جزئیات بیشتر در رابطه با این فناوری در مراجع [۵]و[۶] تشریح شده است که می‌توان به آنها مراجعه نمود.

از نکاتی که تا اینجا بدانها اشاره شده است برداشت می‌شود که در نگاه جدید به شبکه برق، مشترکین عهده‌دار مسئولیت‌های قابل اعتنایی هستند. این موضوع الزام توجه به آنها و شناسایی الگوی رفتاری آنها به عنوان عضوی فعال از فضای بازار برق را توجیه می‌نماید. از جمله مقالاتی که تحلیل رفتار مصرفی مشترکین را مورد توجه قرار داده‌اند می‌توان به مرجع [۹] اشاره نمود که با استفاده از الگوریتم‌های داده-کاوی و شناسایی الگو، روندی برای شناسایی تغییرات در الگوی رفتار مصرفی مشترکین ارائه نموده است. مرجع [۱۲] نیز با استفاده از یک روند ساختاریافته و استفاده از الگوریتم‌های داده‌کاوی و داده‌های دقیق ساعتی مصرف، شناسایی رفتار مصرفی مشترکین را انجام داده است. همچنین مرجع [۱۱] که از دانش حاصل از شناسایی الگوی مصرف مشترکین برای پیش‌بینی بار کوتاه-مدت استفاده نموده است. در این میان نکته‌ای که در مرجع [۱۲] مورد توجه قرار گرفته است نوع مصرف مشترکینی است که در برنامه‌های پاسخگویی بار مشارکت می-نمایند. اعتقاد بر این است که این موضوع تا حدود زیادی روی موفقیت این برنامه‌ها اثرگذار می‌باشد.

اعتقاد نویسندگان این مقاله این است که تمامی مشترکینی که در برنامه‌ی پاسخگویی بار مشارکت می‌نمایند دارای میزان اثرپذیری و کارایی یکسانی در پیاده‌سازی آن نمی‌باشند و همچنین همه‌ی مشارکت‌کنندگان در این برنامه نیز به یک اندازه از آن منتفع نمی-شوند. این موضوع برخاسته از گونه‌های رفتاری مختلفی است که از مشترکین مشاهده می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهند که علی‌رغم تحقیق و بررسی‌های متعددی که در زمینه مفاهیم مرتبط با پاسخگویی بار صورت پذیرفته است، کمتر مطالعاتی مناسب و جامع در رابطه با ارزیابی میزان اثرپذیری مشترکین برای مشارکت در پاسخگویی بار انجام شده است [۱۰].

در این مقاله از الگوریتم خوشه‌بندی طیفی و همچنین تئوری گراف برای دسته‌بندی مشترکین استفاده شده که جزئیات مربوط به چنین انتخابی در متن مقاله مورد اشاره قرار گرفته است. در این زمینه، مرجع [۱۵] به معرفی الگوریتم خوشه‌بندی طیفی می‌پردازد که از آن برای نظارت بر شبکه استفاده شده است. نکته‌ی دیگر بحث تئوری گراف است که این موضوع نیز در مرجع [۱۶] مورد بررسی قرار گرفته است. مرجع [۱۷] به بررسی ظرفیت‌های خوشه‌بندی طیفی برای شناسایی الگوی مصرف مشترکن و دسته‌بندی آنها می‌پردازد. در همین راستا مراجع [۱۸]و [۱۹] به موارد استفاده از ایده تئوری گراف و خوشه-بندی طیفی و مرجع [۲۰] نیز به استفاده از آنتروپی در بحث پردازش تصویر اشاره نموده‌اند. در نهایت از آنجاییکه در مفاهیم مرتبط با شناسایی الگو مفهوم داده‌کاوی نقشی برجسته دارد لازم است با اصول آن آشنا شد که برای این مورد مرجع [۱۳]، مرجع کاملی است.

* Advanced Metering Infrastructure (AMI)

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1396.6.2.7.6]

به‌طور کلی در این مقاله، هدف ارائه‌ی روندی کارآمد برای دسته‌بندی مشترکین از لحاظ میزان اثرپذیری آنها از شرکت در برنامه پاسخگویی بار با ایجاد تغییر در الگوی مصرفشان است. برای این منظور، منفعت کسب شده توسط مشترکین مورد بررسی قرار گرفته است.

نکته‌ی دیگر، ابزار مورد استفاده برای این منظور است. الگوهای مختلفی که در رفتار مصرفی مشترکین مشاهده می‌شود و همچنین ظرفیت‌هایی که الگوریتم‌های خوشه‌بندی طیفی و تئوری گراف دارند سبب جلب توجه نویسندگان این مقاله به این الگوریتم‌ها شده است. مزیت این الگوریتم‌ها علاوه بر قدرت دسته‌بندی مناسب، این است که گروهی از موثرترین شاخص‌ها را برای تمایز میان مشترکین مشخص می‌نمایند. این نکته در بخش‌های آینده بیشتر تشریح خواهد شد.

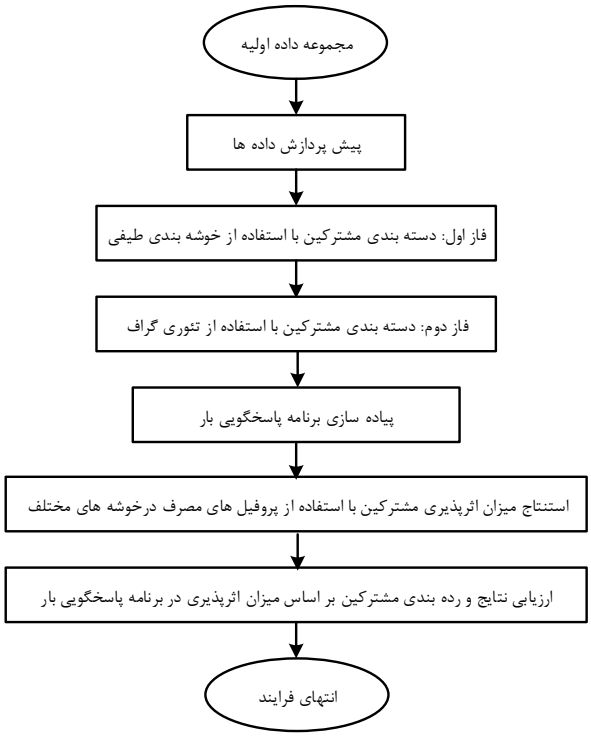
۲- روش‌شناسی

۲-۱- ساختار روش پیشنهادی

پیشتر اشاره شده است که هدف در این مقاله دسته‌بندی و رده‌بندی مشترکین براساس میزان اثرپذیری آنها در نتیجه‌ی مشارکت در برنامه پاسخگویی بار است. برای بالا بردن کیفیت روند، این دسته‌بندی در دو فاز انجام می‌شود. شکل (۱) روند کلی فرایند پیشنهادی برای این منظور را نشان می‌دهد که مطابق آن در مرحله‌ی اول، پس از پیاده-سازی فرایند پیش‌پردازش داده‌های اولیه [۱۳]، مجموعه داده‌های مصرفی اصلی برای پردازش حاصل می‌شود. سپس خوشه‌بندی طیفی روی نمونه‌ها انجام شده و آنها را به خوشه‌های مربوطه تخصیص می-دهد. در ادامه برای دسته‌بندی کامل‌تر از تئوری گراف و مفهوم آنتروپی استفاده شده تا تخصیص اعضاء به خوشه‌ها با اطمینان بالاتری انجام شود. نتیجه‌ی این عمل به‌ویژه با استفاده از مفهوم آنتروپی و اصل داده‌های مصرفی به عنوان ویژگی، دسته‌بندی مشترکین با دقت بالا می‌باشد. پس از آن و با پیاده‌سازی برنامه پاسخگویی بار روی اعضاء هر خوشه به‌طور جداگانه، میزان انتفاع آنها در نتیجه‌ی مشارکت در این برنامه مشخص می‌شود. در واقع، نتیجه پیاده‌سازی پاسخگویی بار ارزیابی نکاتی است که در مورد اثرپذیری مشترکین در فازهای تشریح شده به دست آمده است. جزئیات بیشتر در رابطه با پیاده‌سازی فرایند تشریح‌شده در قسمت‌های بعدی و پس از آشنایی با مفاهیم مورد نیاز بیان خواهد شد.

۲-۲- تئوری گراف

تئوری گراف ابزاری قدرتمند برای مدلسازی است که تشریح کامل جزئیات آن مورد توجه این مقاله نیست. اما اگر بخواهیم به‌طور مختصر بدان اشاره نماییم، گراف، مجموعه‌ای از رئوس(گره‌ها) است که توسط تعدادی شاخه به هم متصل شده‌اند. هرکدام از این گره‌ها یک متغیر هستند و اوزان روی شاخه‌های اتصال‌دهنده‌ی آنها نیز در حقیقت هزینه انتقال از یک گره به گره دیگر می‌باشد. معمولاً شاخه‌های اتصال‌دهنده جهتدار هستند ولی مواردی هم هست که دارای جهت نمی‌باشند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در برخی مطالعات از تئوری



شکل (۱): نمودار روند روش پیشنهادی

گراف برای مدل‌سازی شبکه قدرت استفاده شده است. به این ترتیب که رئوس گراف به‌عنوان واحدها و متغیرهای شبکه و شاخه‌ها نیز به عنوان خطوط اتصال‌دهنده‌ی این واحدها در نظر گرفته شده‌اند. در این مقاله نیز از چنین گرافی استفاده شده است که به صورت $G=(V,E)$ نشان داده می‌شود و در آن $V=\{v_1,v_2,....,v_n\}$ مجموعه رئوس و ماتریس E مجموعه شاخه‌های میان این رئوس را نشان می‌دهد. نکته مهم در بحث گراف، تعیین اوزان روی شاخه‌هاست.

$$w_{i,j}=\sqrt{\sum_{n=1}^{N}(x_{i,n}-x_{j,n})^2} \qquad (۱)$$

این اوزان بیانگر هزینه جابجایی از یک راس به راس دیگر می‌باشد. به این ترتیب، طبیعتاً بیشتر بودن این اوزان هم‌ارز با فاصله بیشتر میان این رئوس از نقطه نظر شاخص مورد نظر در مطالعه‌ی مربوطه می‌باشد. حال اگر فرض نماییم که در این مقاله رئوس گراف متناظر با مشترکین و شاخص مورد نظر نیز شباهت الگوی مصرفی ایشان باشد، به این ترتیب، وزن شاخه میان دو مشترک(گره) که دارای پروفیل مصرفی متفاوت‌تری هستند مقدار بیشتری خواهد بود و برعکس. در این مقاله از اصل داده‌های مصرفی در سری زمانی مصرف مشترکین در ۲۴ ساعت به عنوان ویژگی برای ایشان استفاده می‌شود. با این توصیف، رابطه (۱) برای محاسبه فاصله میان دو گره در نظر گرفته شده است. در این رابطه، $x_{i,n}$ مقدار ویژگی n ام (مصرف در بازه زمانی n) برای

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-29]

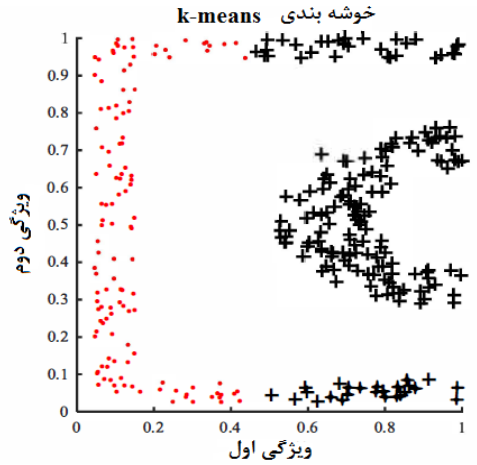
[DOR: 20.1001.1.23222344.1396.6.2.7.6]

مشترک iام و $x_{j,n}$ مقدار ویژگی nام برای مشترک j ام را نشان می‌دهد و در نهایت $w_{i,j}$ مقدار وزن میان این مشترکین می‌باشد.

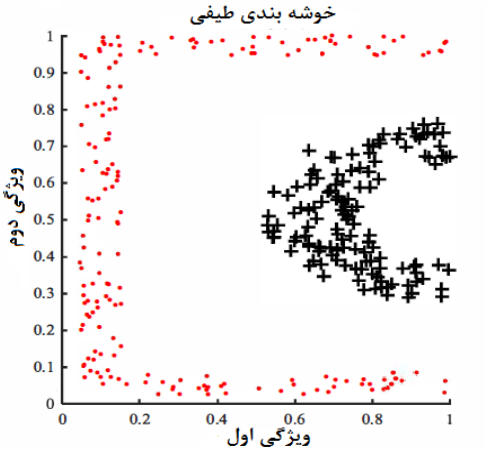
در قسمت‌های بعدی با کاربرد تئوری گراف و محاسبات مربوط به آن در پیاده‌سازی خوشه‌بندی طیفی بیشتر آشنا خواهیم شد.

۲-۳- ضرورت استفاده از خوشه‌بندی طیفی

خوشه‌بندی عبارت است از قرار دادن نمونه‌ها در خوشه‌های مختلف به‌گونه‌ای که نمونه‌های تخصیص یافته به هر خوشه دارای بیشترین شباهت به یکدیگر و کمترین شباهت به نمونه‌های تخصیص یافته به خوشه‌های دیگر باشند [۱۳]. با این هدف، روش‌ها و الگوریتم‌های مختلفی برای خوشه‌بندی نمونه‌ها ارائه شده که جزئیات کامل آن در مرجع [۱۳] ارائه شده است. در این میان الگوریتم k-means دارای شناخته شدگی بیشتری نسبت به سایر الگوریتم‌هاست که با تخصیص اولیه تعدادی مرکز خوشه و مفهوم فاصله شعاعی و به‌روز رسانی مراکز خوشه‌ها عمل دسته‌بندی نمونه‌ها را انجام می‌دهد. اما در این میان زمانی شرایطی پیش می‌آید که توزیع نمونه‌ها در فضای ورودی به‌گونه‌ای است که با ایده‌ی الگوریتم k-means نمی‌توان به دسته‌بندی مناسبی برای آن دست یافت. به‌عنوان مثال، شکل‌های (۲) و (۳) گونه‌ای از توزیع نمونه‌ها در فضای ورودی را نشان می‌دهد که دسته‌بندی آنها با استفاده از الگوریتم‌های k-means و خوشه‌بندی طیفی انجام گرفته است.



شکل (۲): خوشه‌بندی نمونه‌ها با استفاده از روش k-means [۱۵]



شکل (۳): خوشه‌بندی نمونه‌ها با استفاده از روش خوشه‌بندی طیفی [۱۵]

ورودی: مجموعه داده‌های اولیه $X=\{x_1,x_2,...,x_N\}$

$x_n=\{x_{n,1},x_{n,2},....,x_{n,m}\}$

خروجی: برچسب‌های داده‌ها $C=\{c_{x_1},c_{x_2},...,c_{x_N}\}$

۱: تعدادا بهینه خوشه‌ها تعیین شود (C) با استفاده از شاخص davise-bouldin

۲: تعیین ماتریس همبستگی (A): $A=e^{\frac{\|x_i-x_j\|}{2\sigma^2}}$

۳: تعیین ماتریس قطری (D): $D_{ii}=\sum_{j=1}^{N}A_{ij}\ ,i=1,...,N$

۴: تعیین لاپلاسین: $L=D^{-\frac{1}{2}}AD^{-\frac{1}{2}}$

۵: گزینش تعداد (C) بردار ویژه با بزرگترین مقادیر ویژه‌ی متناظر:

$$E=\{e_1,e_2,....,e_c\}=\begin{pmatrix} e_{1,1} & \cdots & e_{1,i} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{i,1} & \cdots & e_{i,i} \end{pmatrix}$$

۶: نرمالیزه نمودن ماتریس (E): $E_{ij}=\frac{E_{ij}}{(\sum_{j=1}^{N}E_{ij}^{\ 2})^{\frac{1}{2}}}$

۷: خوشه‌بندی ماتریس (E) با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی (هر سطری از یک نقطه داده تصور می‌شود)

۸: برچسب نقطه داده از خروجی خوشه‌بندی فازی حاصل می‌شود

شکل (۴): روند خوشه‌بندی طیفی

از این اشکال به وضوح ملاحظه می‌شود که توانایی الگوریتم k-means در مقایسه با روش خوشه‌بندی طیفی برای فضاهای با چینش نمونه‌های این‌چنینی کمتر می‌باشد. این نکته سبب توجه نویسندگان این مقاله به الگوریتم‌های مبتنی بر مقادیر ویژه (Spectrum) و با مبنای تئوری گراف شده است که در قسمت ۲-۴ بیشتر با آنها آشنا می‌شویم. نکته مهم دیگری که در رابطه با خوشه‌بندی طیفی مطرح است توانایی ذاتی این روش در شناسایی ویژگی‌های اثرگذارتر در میان تمامی ویژگی‌های تعریف‌شده برای مشترکین است. مشخص شدن ویژگی‌های مهم‌تر و به تعبیری کاهش ابعاد داده به‌ویژه با افزایش قابل ملاحظه‌ای

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1396.6.2.7.6]

که در حجم داده‌ها در نتیجه‌ی ورود AMI ایجاد می‌شود و چالش کلان‌داده‌ها[†] دارای اهمیت بالایی می‌باشد.

۲-۴- تئوری خوشه‌بندی طیفی

الگوریتم خوشه‌بندی طیفی برخلاف روش‌های مرسوم خوشه‌بندی، با استفاده از تئوری گراف و مقادیر ویژه‌ی ماتریس لاپلاسین، دسته‌بندی نمونه‌ها را انجام می‌دهد. با این فرض که نمونه‌ها رئوس یک گراف را تشکیل دهند و شاخه‌ها و اوزان آنها نیز طبق نکته بیان شده در تئوری گراف تعیین شود، می‌توان گراف متناظر با مشترکین را تشکیل داد. توضیح کامل‌تر این الگوریتم در مرجع [۱۰] ارائه شده و در اینجا شرح ریاضی مختصری از مراحل پیاده‌سازی آن در شکل (۴) تشریح شده است. مطابق این توضیح، این‌طور تصور می‌شود که تعدادی نمونه اولیه داریم که هرکدام دارای تعداد ویژگی(بعد) هستند و قرار است در خوشه‌هایی قرار گیرند. در مرحله‌ی بعد باید تعداد خوشه‌ها تعیین شود که در این مقاله برای این منظور از شاخص Davise-Bouldin استفاده شده و رابطه (۲) نشان‌دهنده فرمول این شاخص می‌باشد [۱۱].

در این رابطه، $S(Q_K)$ میانگین فاصله درون خوشه‌ی Q_K و $d(Q_j,Q_l)$ فاصله بین خوشه‌های Q_j و Q_l و N_c نیز برابر با تعداد بهینه خوشه‌ها می‌باشد. جزئیات کاملتر مربوط به مفهوم و روند محاسبه این شاخص در مرجع [۱۱] ارائه شده است و اینجا از پرداختن به آن صرف‌نظر می‌شود. در مرحله‌ی بعد باید ماتریس‌های همبستگی و لاپلاسین را مطابق فرمول‌های بیان شده به دست آورد. در ادامه و پس از تعیین مقادیر ویژه ماتریس L باید این مقادیر را نرمالیزه نمود. در انتها با فرض اینکه هر سطری از ماتریس L نشان-دهنده‌ی یک نمونه است، باید با استفاده از خوشه‌بندی فازی، عمل خوشه‌بندی نمونه‌ها را انجام داد. لازم به ذکر است که تشریح کامل جزئیات مربوط به خوشه‌بندی فازی در مرجع [۹] ارائه شده است. نتیجه‌ی این خوشه‌بندی تعلق برچسب‌هایی به هر کدام از نمونه‌هاست که خوشه‌ی آنها را تعیین می‌نماید.

$$DB=\frac{1}{N_c}\sum_{J=1}^{N_C}\max\ l\neq j\ \frac{S(Q_j)+S(Q_l)}{d(Q_j,Q_l)} \qquad (۲)$$

۳- دسته‌بندی مشترکین

در این قسمت به‌طور دقیق‌تر فرایندهای مرتبط با دسته‌بندی و رده-بندی مشترکین بر اساس میزان اثرپذیری‌شان در برنامه‌ی پاسخگویی بار تشریح می‌شود. روند پیشنهادی کلی برای این منظور در شکل (۵) نشان داده شده است که در قسمت‌های آینده با جزئیات بدان پرداخته می‌شود. نکته منطقی که اعتقاد نویسندگان این مقاله نیز می‌باشد این است که بتوان تعداد بهینه خوشه‌ها را با استفاده از موثرترین شاخص‌ها تعیین نمود. همین اهمیت سبب شده تا در این مقاله روندی دوفازی و تطبیقی برای تعیین خوشه‌های بهینه ارائه شود.

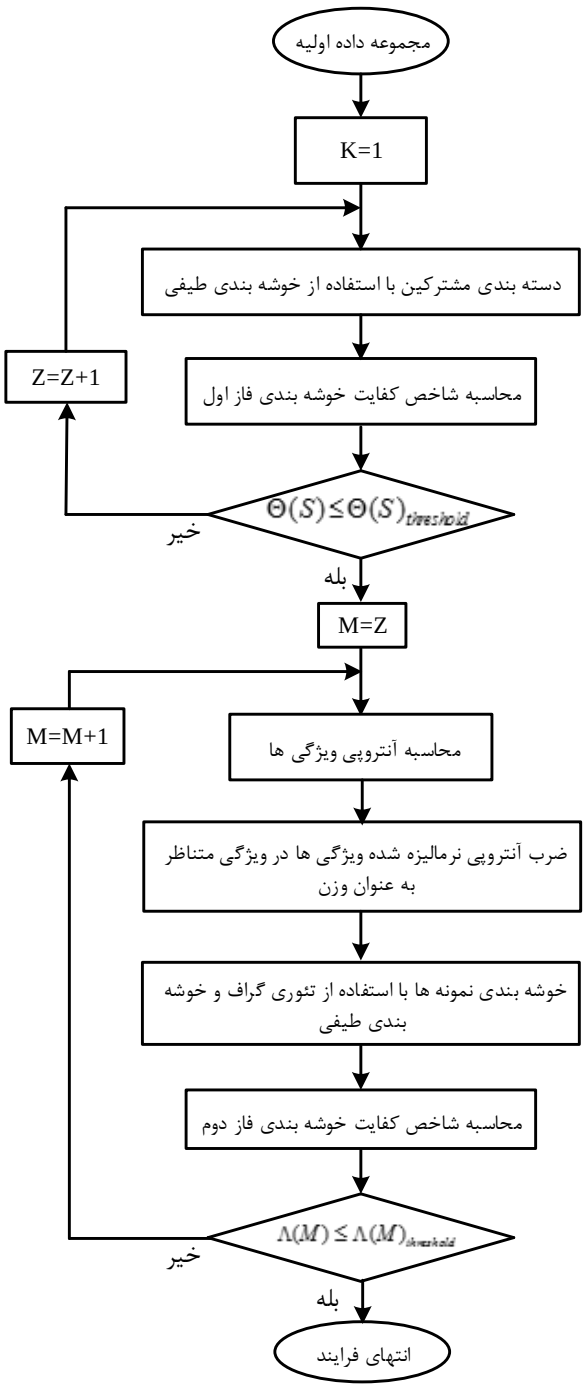
۳-۱- فاز اول دسته‌بندی با استفاده از خوشه‌بندی طیفی

در اولین فاز برای خوشه‌بندی مشترکین از الگوریتم خوشه‌بندی طیفی استفاده می‌شود. برای پیاده‌سازی این الگوریتم باید تعداد خوشه‌ها در اولین مرحله از پیش تعیین شود که برای این منظور از شاخص Davise-Bouldin استفاده شده است. پس از یک مرحله پیاده‌سازی خوشه‌بندی، در ادامه‌ی مسیر برای تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها در قالب یک روش تطبیقی از شاخص دیگری($\Theta(S)$) استفاده می‌شود که روند محاسبه آن در معادلات (۸)-(۳) تشریح شده است. این شاخص نشان‌دهنده‌ی میزان تفکیک خوشه‌ها از یکدیگر و همچنین

[†] Big Data

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1396.6.2.7.6]



شکل (۵): نمودار روند جزیی فرایند معرفی‌شده برای دسته‌بندی مشترکین

تراکم هر خوشه است که به صورت نسبت میانگین فاصله‌ی درون خوشه‌ای به میانگین فاصله‌ی بین خوشه‌ای تعریف می‌شود. هر اندازه که مقدار این شاخص کوچکتر باشد به معنی خوشه‌بندی با کیفیت بالاتر است و برعکس. با این فرض، حالت مطلوب‌تر متناظر با زمانی است که صورت کسر که بیانگر مجموع فواصل اعضاء هر خوشه از یکدیگر است مقدار کم‌تر و مخرج کسر که بیانگر مجموع فواصل اعضاء هر خوشه از اعضاء سایر خوشه‌هاست مقدار بیشتری باشد. در این مطالعه روند افزایش تعداد خوشه‌ها (Z) تا جایی ادامه می‌یابد که نرخ تغییر شاخص $\Theta(S)$ به کمتر از ۵٪ برسد. لازم به ذکر است که مقدار ۵٪ نیز براساس سعی و خطا و مقایسه نتایج و خروجی‌های خوشه‌بندی فازی به دست آمده است.

$$d_i = w_{ii} = \sum_{j=1}^{N} w_{ij} \qquad (۳)$$

$$L_n = D^{-1/2} L D^{-1/2} \qquad (۴)$$

$$[L_n]_{ij} = \begin{cases} 1, & ,if\ i = j \\ \dfrac{-w_{ij}}{\sqrt{d_i}\sqrt{d_j}}, & if\ i \neq j, (i,j) \in E \\ 0 & ,otherwise \end{cases} \qquad (۵)$$

$$\mu(S) = \sum_{i \in S} d_i \qquad (۶)$$

$$\eta(S) = \sum_{i \in S,\, j \notin S} w_{ij} \qquad (۷)$$

$$\Theta(S) = \frac{\eta(S)}{\mu(S)} \qquad (۸)$$

۳-۲- فاز دوم دسته‌بندی با استفاده از تئوری گراف و مفهوم آنتروپی

در این فاز با استفاده از مفهوم تئوری گراف که پیشتر اصول اولیه آن مورد اشاره قرار گرفته و همچنین مفهوم آنتروپی، فرایند تفکیک تشریح شده در فاز قبل تکمیل می‌شود. لازم است که در رابطه با نقش آنتروپی و چگونگی کاربرد آن برای تخصیص وزن به هر یک از ویژگی-ها در این قسمت توضیحاتی ارائه شود.

مطابق نکاتی که در بحث تئوری اطلاعات مطرح است، آنتروپی یک پیام ارسالی یا یک متغیر تصادفی، بیانگر میزان عدم قطعیت آن است. به این ترتیب که هر اندازه میزان آنتروپی آن بیشتر باشد یعنی دارای عدم قطعیت بیشتری است و برعکس. چنین متغیری گرچه دارای حجم بالاتری از اطلاعات نادانسته برای ماست اما در تصمیم‌گیری دارای اثرگذاری کمتری می‌باشد. مطابق این توضیح و همچنین با الهام از نکاتی که در رابطه با پاسخگویی بار در مراجع [۷] و [۱۲] مطرح شده، و همچنین نگاهی که در مرجع [۷] به موضوع آنتروپی شده است می‌توان این چنین بیان نمود که ویژگی‌هایی در تصمیم‌گیری‌های مربوط به پاسخگویی بار موثرتر هستند که دارای آنتروپی کمتر یا قطعیت بالاتری باشند. در حقیقت محاسبه‌ی شاخص آنتروپی برای شناسایی میزان اثرگذاری این ویژگی‌ها کمک‌کننده می‌باشد.

رابطه (۹) فرمول اصلی آنتروپی (Ent_j) برای ویژگی j را نشان می-دهد. در این رابطه، R_{ij} بیانگر میزان چگالی وزنی ویژگی j برای

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1396.6.2.7.6]

نمونه‌ی i و $\sum_{i=1}^{m} x_{ij}$ نیز مجموع مقادیر این ویژگی برای تمامی نمونه‌هاست. اگر تعداد نمونه‌ها را N فرض نماییم، مقدار K با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود. به این ترتیب، می‌توان با استفاده از رابطه (۹) به مقدار آنتروپی متناظر با ویژگی j ام دست یافت. از سوی دیگر بیان شده که آنتروپی میزان عدم قطعیت یک متغیر را نشان می‌دهد، بر این اساس، رابطه (۱۲) بیانگرمیزان اطمینان به ازای یک ویژگی است که هر اندازه برای یک ویژگی دارای مقداری بزرگتر باشد یعنی تاثیر آن ویژگی در تصمیم‌گیری بیشتر است. در نهایت نیز برای امکان مقایسه راحت‌تر میان ویژگی‌ها با استفاده از رابطه (۱۳)، مقادیر d_j ها نرمالیزه می‌شود.

$$Ent_j = -K\sum_{i=1}^{m} R_{ij}\ln R_{ij} \quad (۹)$$

$$R_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}} \quad (۱۰)$$

$$K = \frac{1}{\ln(N)} \quad (۱۱)$$

$$d_j = 1 - Ent_j \quad (۱۲)$$

$$\theta_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{m} d_j} \quad (۱۳)$$

در ادامه پس از آنکه با استفاده از آنتروپی، ویژگی‌های با ارزش بالاتر برای تفکیک مشخص شدند، برای خوشه‌بندی از این مقادیر قطعیت نرمالیزه شده(θ_j) به‌عنوان وزن برای ویژگی‌ها استفاده می‌شود. به این ترتیب به ویژگی‌های دارای اثرگذاری بیشتر وزن بیشتری تعلق می‌گیرد و برعکس. این عمل سبب می‌شود که در عمل خوشه‌بندی، تفاوت‌های اساسی‌تر بیشتر به چشم آمده و منجر به یک فرایند خوشه‌بندی دقیق‌تر شود. روابطه (۱۴) چگونگی تخصیص اوزان به ویژگی‌های مختلف را بیان می‌نماید. در رابطه (۱۴)، ضرایب $\theta_1, \theta_2, ..., \theta_r$، مقادیر نرمالیزه شده‌ی اوزان ویژگی‌ها در تصمیم‌گیری و دسته‌بندی مشترکین است. در همین راستا، به عنوان نمونه، شکل (۶) میزان اهمیت ویژگی‌ها را که از این طریق محاسبه شده است را برای دسته‌بندی مشترکین نشان می‌دهد. در این شکل هر ویژگی که دارای آنتروپی کمتری باشد نقش موثرتری در تصمیم‌گیری ایفا می‌نماید.

در این فاز و پس از لحاظ نمودن مفهوم آنتروپی، ویژگی‌های موثرتر برای خوشه‌بندی مشترکین شناسایی شده و وزن‌های مناسب به هرکدام از آنها تخصیص یافته است. اعمال این اوزان به ویژگی‌های مربوط به مشترکین شرایط جدیدی را ایجاد نموده است که حال باید مشخص شود که با وضعیت جدید تعداد بهینه خوشه‌ها چه تعدادی می‌باشد. برای این منظور نیز در قالب فرایندی تطبیقی، شاخصی متفاوت از $\Theta(S)$ مورد استفاده قرار می‌گیرد که در روابط (۱۸)-(۱۴) نحوه محاسبه آن ارائه شده است. برای این شاخص نیز مانند $\Theta(S)$، هر اندازه مقادیر کوچکتر باشد شرایط مطلوب‌تر است. با استفاده از برچسب‌هایی که به هر نمونه در نتیجه‌ی خوشه‌بندی طیفی در فاز قبل تعلق گرفته است، فرایند تعیین تعداد خوشه‌های بهینه آغاز می‌شود. برای محاسبه شاخص جدید $\Lambda(M)$، در رابطه (۱۸)، Ψ_k یک بردار $N\times 1$ می‌باشد که بیانگر برچسب تعلق گرفته به هر نمونه در نتیجه‌ی آخرین خوشه‌بندی انجام گرفته می‌باشد و همچنین γ نیز ضریب این برچسب‌هاست که همان ضرایب عضویت خوشه‌بندی فازی هستند. همچنین در رابطه (۱۸)، λ_k بیانگر بردار تفکیک $N\times 1$ است که برای حالتی که i امین نمونه در k امین خوشه باشد $\lambda_{ik}=1$ می‌باشد و برای حالتی که i امین نمونه در k امین خوشه نباشد $\lambda_{ik}=0$ می‌باشد. همچنین R و W نیز هردو ماتریس‌های $N\times N$ هستند و D نیز یک ماتریس قطری است که اعضاء روی قطر اصلی (i,i) آن برابر مجموع مقادیر iامین سطر ماتریس W می‌باشد که این نکته در رابطه (۱۸) نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در رابطه (۱۸)، نشانگر تعداد خوشه‌هاست.

$$w_{ij} = \exp(-\theta_1\|f_{1,i}-f_{1,j}\| - \theta_2\|f_{2,i}-f_{2,j}\| - \cdots - \theta_{r-1}\|f_{r-1,i}-f_{r-1,j}\| - \theta_r\|f_{r,i}-f_{r,j}\|) \quad (۱۴)$$

$$\Pi_k = \gamma[I-(1-\gamma)]^{-1}\Psi_k \quad (۱۵)$$

$$R = D^{-1}W \quad (۱۶)$$

$$d_{ii} = \sum_{j=1}^{n} w_{ij} \quad (۱۷)$$

$$\Lambda(M) = \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K}\frac{\lambda_k^T \Pi \lambda_k}{\lambda_k^T D \lambda_k} \quad (۱۸)$$

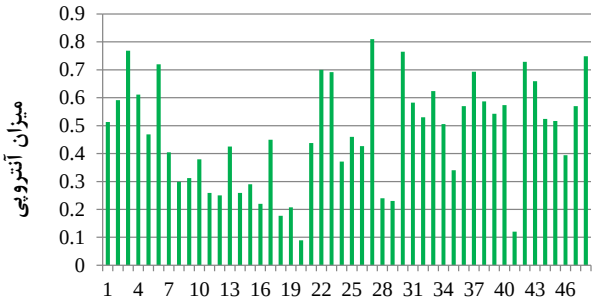
۴- پیاده‌سازی

۴-۱- مطالعه موردی

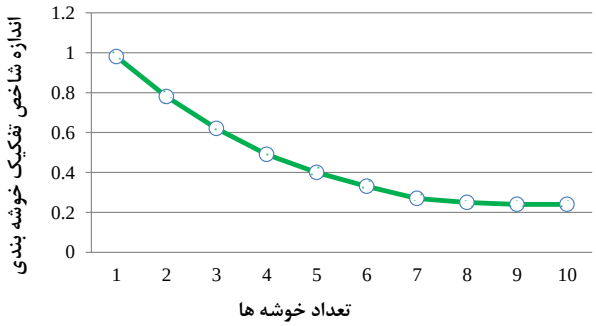
در این مقاله از اطلاعات مربوط به یک شبکه‌ی توزیع واقعی با تعداد ۷۶۰ نمونه از مشترکین خانگی کشور ایرلند استفاده شده است. این داده‌های مصرفی برای مدت یکسال و با فاصله زمانی ۳۰ دقیقه‌ای ثبت شده‌اند. این یعنی برای هر مشترک در هر ۲۴ ساعت تعداد ۴۸ نمونه ثبت شده داریم. این یک‌سال به دو دوره‌ی شش‌ماهه تقسیم می‌شود که در شش‌ماه اول شناسایی و مدلسازی و در شش‌ماه دوم ارزیابی روند و مدل صورت می‌پذیرد.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-29]

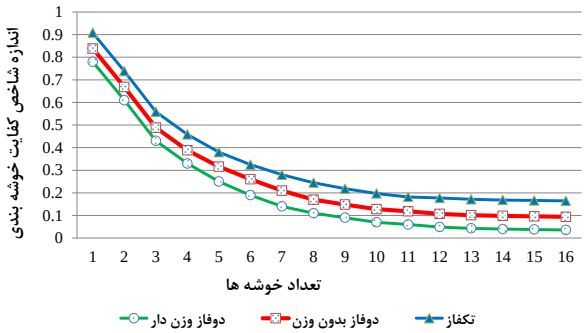
[DOR: 20.1001.1.23222344.1396.6.2.7.6]



شکل (۶): آنتروپی متوسط خوشه‌ها برای یک بازه‌ی زمانی مطالعه



شکل (۷): شاخص تفکیک خوشه‌ها در فاز اول



شکل (۸): مقایسه شاخص کفایت خوشه‌بندی در فاز دوم برای روش-های مختلف

۴-۲- نتایج دسته‌بندی

تا به این قسمت روند دسته‌بندی مشترکین در دو فاز معرفی شده است. شکل (۷) مقدار شاخص $\Theta(S)$ در فاز اول را برحسب تعداد خوشه‌ها نشان می‌دهد. طبق فرض تغییرات کمتر از ۵٪ برای این شاخص ($\Theta(S)$) که در قسمت (۳-۱) بیان شده، در نهایت تعداد ۱۰ خوشه به عنوان تعداد خوشه‌های بهینه فاز اول تعیین شده است.

همچنین شکل (۸) مقادیر شاخص ارزیابی فاز دوم ($\Lambda(M)$) را برحسب تعداد خوشه‌ها و به ازای سه حالت مختلف نشان می‌دهد. مطابق این شکل زمانی که دسته‌بندی در دو فاز و به صورت وزن‌دار انجام می‌گیرد مقادیر کوچکتری برای شاخص ($\Lambda(M)$) حاصل می‌شود. این حالات سه‌گانه برای ارزیابی عینی‌تر روند پیشنهادی در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است. این حالات مختلف عبارت‌اند از: دسته‌بندی در یک‌فاز (تنها فاز اول)، دسته‌بندی در دو فاز و بدون وزن و همچنین دسته-بندی در دو فاز و با فرض وجود اوزان. منحنی‌های رسم‌شده در شکل (۸) گویای مقادیر کمتر $\Lambda(M)$ به‌ازای حالت سوم هستند که این بیانگر عملکرد بهتر حالت پیشنهادی در این مقاله نسبت به دو حالت دیگر است. در نهایت و با استفاده از دو فاز طراحی شده برای دسته-بندی، تعداد ۱۶ خوشه به عنوان تعدادخوشه‌های بهینه نهایی تعیین شده‌اند.

۴-۳- پیاده‌سازی پاسخگویی بار و نتایج آن

این بخش از مقاله مربوط به پیاده‌سازی برنامه پاسخگویی بار و ارزیابی میزان کارایی دسته‌بندی صورت گرفته می‌باشد. برای این منظور فرض می‌شود که تمامی مشترکین در این برنامه مشارکت نمایند و در

جدول (۲): میزان کاهش هزینه مشترکین(شش ماهه دوم)

تعداد خوشه	مشارکت 10%	مشارکت 20%	مشارکت 30%	مشارکت 40%	مشارکت 50%
1	4.53%	6.85%	8.56%	13.31%	16.07%
2	5.84%	10.06%	9.93%	14.77%	17.34%
3	7.29%	11.37%	12.7%	16.74%	19.52%
4	9.17%	12.51%	14.42%	17.8%	20.75%
5	10.02%	13.87%	15.61%	18.93%	21.88%
6	12.17%	14.38%	17.32%	21.02%	23.49%
7	13.69%	16.87%	18.66%	22.57%	25.11%
8	15.07%	17.95%	20.21%	23.65%	26.24%
9	16.98%	19.12%	21.36%	25.71%	28.33%
10	18.53%	21.02%	23.19%	26.92%	30.17%
11	19.51%	22.69%	24.61%	28.09%	32.15%
12	20.64%	23.99%	26.16%	30.68%	33.64%
13	22.13%	25.32%	28.09%	31.89%	35.11%
14	23.74%	27.05%	29.16%	33.06%	36.42%
15	25.04%	28.26%	30.29%	34.22%	38.26%
16	27.43%	30.35%	31.18%	35.75%	39.71%

ساعات اوج مصرف با پله‌های ۱۰٪ از میزان مصرف خود کاسته و این مصارف را به ساعات کم‌باری منتقل نمایند. در هر نوبت از پیاده‌سازی پاسخگویی بار، فرض می‌شود که تنها اعضاء یک خوشه مشارکت می-نمایند. پس از پیاده‌سازی برنامه با بررسی داده‌های مصرفی شش ماه اول، جدول (۱) حاصل شده است که نشان‌دهنده‌ی میزان منفعت مشترکین خوشه‌های مختلف در نتیجه‌ی شرکت در پاسخگویی بار از دیدگاه کاهش هزینه‌ی پرداختی می‌باشد. البته در این جدول خوشه‌ها به ترتیب افزایش میزان اثرپذیری و منفعت اعضاءشان مرتب شده‌اند. از آنجایی که دسته‌بندی مشترکین در این مقاله به‌صورت دقیق و با وزن-دهی به ویژگی‌های مشترکین که همان اصل داده‌های مصرفی هستند صورت پذیرفته است، باید از روی این نتایج به دست آمده الگوی رفتاری غالب مشترکین در خوشه‌ها را استخراج نمود. بررسی الگوی مصرفی غالب مشترکین هر خوشه و مقایسه‌ی آن با الگوی بهینه از دیدگاه شبکه که با در نظر گرفتن سیگنال‌های قیمت متناظر با کمترین هزینه برای مشترک به دست آمده است منتج به منحنی‌های میانگین اختلاف پروفیل مصرفی مشترکین و پروفیل بهینه شبکه شده است. میزان این اختلافات در شکل (۹) برای هر ۱۶ خوشه نشان داده شده است. تحلیل نتایج در این مقاله مطابق شکل (۹) بیان می‌نماید

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1396.6.2.7.6]

که آن دسته از مشترکینی که در الگوی مصرفی‌شان دارای اختلاف زیادی با الگوی مصرف بهینه از دید شبکه باشند، منفعت بیشتری از مشارکت در این برنامه خواهند برد. به همین ترتیب، مشترکینی که در الگوی مصرفی غالب خود دارای اختلاف کمی با پروفیل بهینه هستند، با تغییر کمی در الگوی مصرف به الگوی بهینه خواهند رسید. این مشترکین به‌طور معمول رفتار مصرفی نزدیک به حالت بهینه دارند و طبیعتاً منفعت کسب شده در اثر این تغییر کم الگوی مصرفی نیز کمتر خواهد بود. با در نظر گرفتن این نکته و الگوهای غالب مصرفی برای خوشه‌های مختلف، پاسخگویی بار برای شش ماه دوم پیاده‌سازی شده و نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است. اطلاعات گزارش شده در جدول (۲) اگرچه از لحاظ اندازه اندکی با جدول (۱) تفاوت دارند اما اصل استدلال شش ماه اول در جدول (۱) را تایید می‌نمایند. این یعنی معیار بیان شده در بخش اول برای تعیین اثرپذیرترین گروه مشترکین در پاسخگویی بار کارایی مناسبی را نشان می‌دهد.

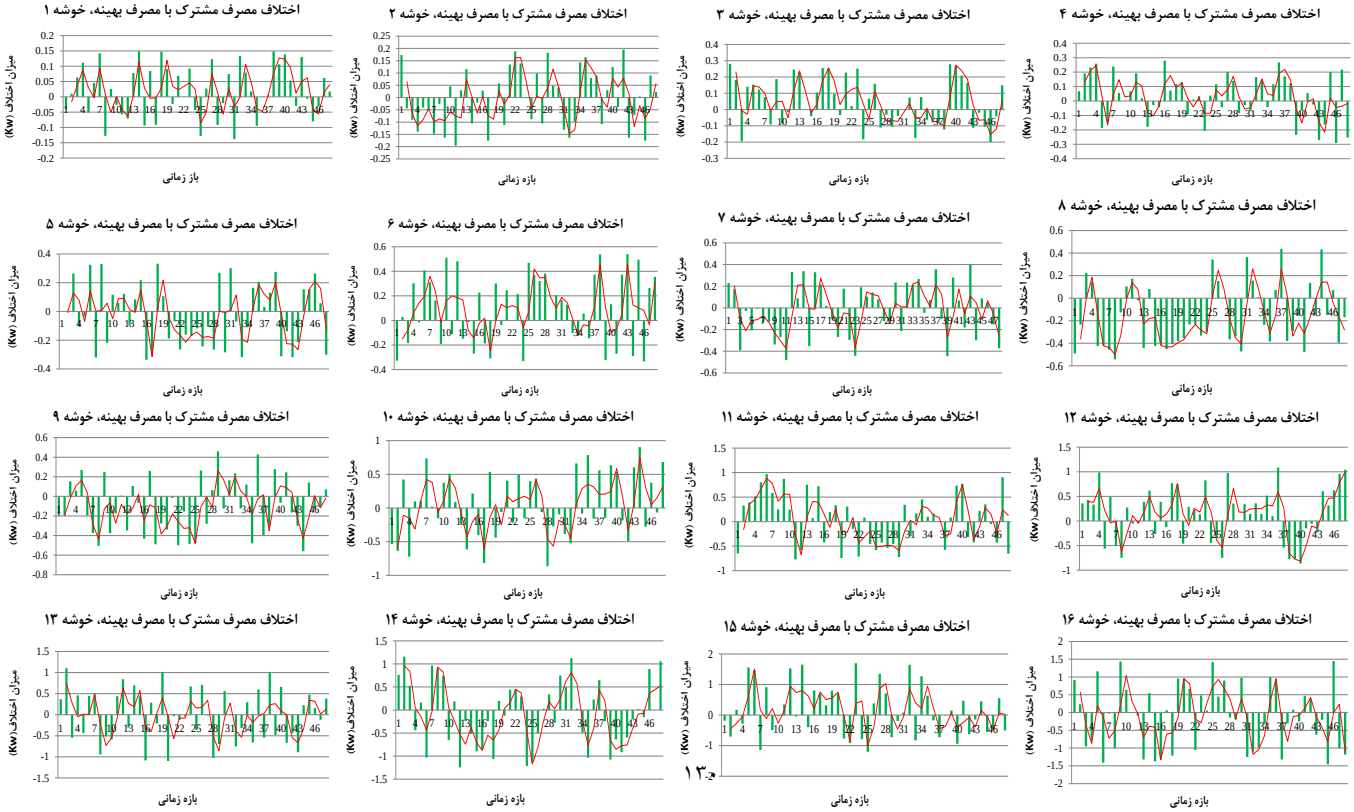
توجه شود که از آنجایی که افزایش دقت در خوشه‌بندی در نتیجه‌ی افزایش تمرکز روی اصل پروفیل مصرفی است، نتایج استخراج‌شده از پروفیل‌های مصرف نیز دارای اطمینان بالایی می‌باشد. در حقیقت تاکید اصلی نویسندگان این مقاله روی ارائه‌ی روندی برای دسته‌بندی دقیق‌تر مشترکین می‌باشد که خود از شناسایی ویژگی‌های اثرگذارتر در دسته‌بندی حاصل می‌شود. از طرفی، هر اندازه دسته‌بندی دقیق‌تر باشد، اظهار نظر در رابطه با پاسخگویی بار که مستقیماً تحت تاثیر پروفیل مصرفی مشترک است با اطمینان بیشتری قابل انجام است. چرا که مطالعات صورت گرفته در این مقاله نشان می‌دهد که برنامه پاسخگویی بار شدیداً تحت تاثیر تغییرات در الگوی رفتار مصرفی مشترکین می‌باشد. در یک بیان کلی روند شناسایی الگوی مصرف مشترکین اگر متناسب با هدف مشخص شده (اثرپذیری در پاسخگویی بار) باشد، دقت تصمیمات اخذ شده را به میزان قابل ملاحظه‌ای بالا خواهد برد.

جدول (۱): میزان کاهش هزینه مشترکین(شش ماهه اول)

تعداد خوشه	مشارکت 10%	مشارکت 20%	مشارکت 30%	مشارکت 40%	مشارکت 50%
1	7.13%	9.98%	12.13%	16.15%	19.33%
2	8.77%	11.62%	13.77%	17.79%	20.97%
3	9.89%	12.74%	14.89%	18.91%	22.09%
4	10.98%	13.83%	15.98%	20%	23.18%
5	12.21%	15.26%	17.21%	21.23%	24.41%
6	13.36%	16.21%	18.36%	22.38%	25.56%
7	15.03%	17.88%	20.03%	24.05%	27.23%
8	16.23%	19.08%	21.23%	25.25%	28.43%
9	18.05%	20.9%	23.05%	27.07%	30.25%
10	19.67%	22.12%	24.27%	28.29%	31.47%
11	20.99%	23.84%	25.99%	30.01%	33.19%
12	22.56%	25.41%	27.56%	31.76%	34.76%
13	23.88%	26.73%	29.88%	32.9%	35.88%
14	25.07%	27.92%	31.07%	34.09%	37.97%
15	26.59%	29.84%	32.59%	35.61%	39.79%
16	29.08%	31.93%	34.08%	37.1%	41.78%

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله تلاش شده است تا بتوان به نحوی مشترکین را از لحاظ میزان اثرپذیری‌شان در نتیجه مشارکت در برنامه پاسخگویی بار دسته-بندی نمود. برای این منظور الگوریتم‌های شناسایی الگو و داده‌کاوی با مفاهیم مرتبط با بهره‌وری انرژی، پاسخگویی بار و بازار برق در قالب یک فرایند تطبیقی پیشنهادی ترکیب شده است. نتیجه نهایی تحلیل انجام گرفته در این مقاله گویای توانمندی فرایند ارائه شده برای شناسایی اثرگذارترین ویژگی‌ها در سری زمانی مصرف مشترکین می-باشد. خروجی این تحلیل، تشکیل خوشه‌هایی از مشترکین با الگوهای مصرفی مختلف است که هر کدام دارای میزان اثرپذیری و کسب منفعت متفاوتی از مشارکت در برنامه پاسخگویی بار هستند. به این



شکل (۹): اختلاف پروفیل مصرف میانگین خوشه‌ها با پروفیل مصرف بهینه

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1396.6.2.7.6]

ترتیب، مشترکینی که در سری زمانی مصرف خود فاصله‌ی بیشتری با الگوی مصرف بهینه دارند منفعت بیشتری از مشارکت در برنامه پاسخگویی بار خواهند برد و برعکس.

سپاسگزاری

در این بخش، نگارندگان این مقاله از پایگاه اطلاعاتی داده ISSDA[‡] کشور ایرلند از بابت در اختیار قرار دادن داده‌های مصرفی مشترکین نهایت تشکر رادارند. همچنین از سرکار خانم دکترمنا قاسمیان عضو محترم هیات علمی دانشگاه شهید بهشتی، به علت ایجاد ارتباط به‌منظور اخذ داده‌های مصرفی مشترکین شبکه ایرلند و آقای مهندس حامد برزمینی نهایت سپاسگزاری را دارند.

مراجع

[1] International Energy Agency, World Energy Outlook, 2009, Available: http:// www.world energyoutlook.org/docs/weo 2009/ WEO 2009 es English.pdf.

[۲] ع. شهسواری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "رویکرد تقویت ترمیم‌گر به خودترمیمی شبکه‌ی هوشمند با مدلسازی قابلیت اطمینان شبکه هوشمند"، دکتر ح. لسانی(راهنما)، ع. فریدونیان(مشاور)، دانشگاه تهران، ۱۳۹۲

[3] A.Fereidunian, H.Lesani, C.Lucas, "Distribution System Reconfiguration Using Pattern Recognizer Neural Networks", International Journal of Engineering (IJE), Vol. 15, No. 2, pp. 135-144, 2002.

[4] W.Gellings, Clark, "The Concept of Demand-Side Management for Electric Utilities", In Proc of the IEEE, Vol. 73, No. 10, Palo Alto, CA, USA, October 1995.

[5] R. Rashed-Mohassel, A. Fung, F. Mohammadi, K. Raahemifar, "A survey on Advanced Metering Infrastructure", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 63, pp. 473-484, 2014.

[6] S. Roy, B. Bedanta, S. Dawnee, "Advanced Metering Infrastructure for Real-time Load Management in a Smart Grid", International Conf, Power and Advanced Control Engineering (ICPACE), Bangalore, pp. 104-108, Aug. 2015.

[7] U.S. Department of Energy, "Benefits of Demand Response in Energy Markets and Recommendations for Achieving them", Report to the United State Congress, February 2006, available online: http://eetd.lbl.gov.

[۸] ح. اعلمی، م. پارسا مقدم، غ. ر. یوسفی، "مدلسازی پاسخگویی بار مبتنی بر ضرایب حساسیت قیمتی تقاضا"، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، بهار ۱۳۸۹

[۹] م. کجوری نفت‌چالی، ع. فریدونیان، ح. لسانی، "شناسایی تغییرات در رفتار مصرفی مشترکین با استفاده از خوشه‌بندی فازی"، پنجمین کنفرانس شبکه‌های هوشمند(SGC 2016)، ایران، تهران، دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۹۴

[۱۰] م. کجوری نفت‌چالی، ح. لسانی، ع. فریدونیان، "داده‌کاوی در انباره داده زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تابستان ۱۳۹۵

[11] M.spinoza, C.joie, R.belmanse, B.de moor, ''Short-term Load Forecasting, Profile Identification, and Customer Segmentation: A Methodology Based on Time-Series'', IEEE Transactions on Power systems, Vol.20. No.3, AUGUST 2005.

[12] J. Kwac,, J. Flora, and R. Rajagopal,"Household Energy Consumption Segmentation using Hourly data", IEEE Trans. Smart Grid, Vol. 5, Jan. 2014.

[13] J. Han, M. Kamber (2006) "Data Mining concepts and techniques" 2nd edition, Morgan Kaufmann publisher.

[14] M.K.Naftchali, A.Fereidunian, H.Lesani, "Identifying Susceptible Consumers for Demand Response and Energy Efficiency Policies by Time-Series Analysis and Supplementary Approaches", 24th Iranian Conference Electric and Electronic (ICEE 2016), Shiraz, Iran, 2016.

[15] R. j. Sanchez-Garcia, M. Fennelly, S. Norris, N. Wright, G. Niblo, J. Brodzki, J. Bialek, "Hierarchical; Spectral Clustering of Power Grids", IEEE Trans on Power Systems, Vol. 29, No. 5, September. 2014.

[16] M. Owhadi-Kareshk, R. Mohammad, T. Akbarzadeh, "Specral Clustering-Based Classification", 5th international Conference on Computer and Knowledge Engineering (ICCKE), Mashhad, Iran, Oct. 2015.

[۱۷] م. کجوری، ع. فریدونیان، ح. لسانی، " استفاده از الگوریتم خوش‌بندی طیفی برای شناسایی الگوی مصرف مشترکین و تعیین تعرفه‌های بهینه مصرفی در شبکه برق"، پنجمین کنفرانس منطقه‌ای سیرد، پژوهشگاه نیرو، دی‌ماه ۱۳۹۵

[18] S. Zhu, X. Zhu, Q. Luo, "Graph Theory Based Image Segmentation", 6th International Congress on Image and Signal Processing (CISP), Hangzhou, China, 2013.

[19] W. K. Lai, I. M. Khan, G. S. Poh, "Weighted Entropy-Based Measure for Image Segmentation", International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors, pp. 1261-1267, Kuching, Sarawak, Malaysia, 2012.

[20] H. Zhang, J. E. Fritts, and S. A. Goldman, "An Entropy-Based Objective Evaluation Method for Image Segmentation", Proceedings of the SPIE, Vol. 5307, pp. 38-49, San Jose, California, United States, 2003.

[‡] Irish Social Science Data Archive (ISSDA)

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1396.6.2.7.6]