ارائه‌ی الگوریتم خوشه‌بندیِ شرکت‌های توزیع در فرآیند تعیین هزینه‌ی عملیاتی- مطالعه موردی شرکت‌های توزیع انگلستان

صادق امانی بنی[۱] محمدکاظم شیخ‌الاسلامی[۲] محمودرضا حقی‌فام[۳] سعید الاهی[۴]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه تربیت مدرس - تهران- ایران
s.amanibeni@modares.ac.ir
۲- استادیار- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه تربیت مدرس - تهران- ایران
aleslam@modares.ac.ir
۳- استاد- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه تربیت مدرس - تهران- ایران
haghifam@modares.ac.ir
۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد- دبیرخانه هیأت تنظیم بازار برق ایران- تهران- ایران
elahi@gmail.com

چکیده: **تنظیم مقررات شرکت‌های توزیع از مباحث مهم سیستم قدرت بوده که تأثیر بسزایی در فعالیت‌های این بخش دارد. قیمت‌گذاریِ خدمات توزیع از عوامل مهم تنظیم مقررات بوده که به دو روش کلی مبتنی بر هزینه و مبتنی بر عملکرد انجام می‌شود. هزینه‌های شرکت توزیع عموماً شامل هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی می‌شود. در روش‌های معمول تنظیم مقررات کیفیت خدمات، افزایش بهره‌وری و ... با استفاده از محک‌زنی انجام می‌شود. با توجه به اینکه شرکت‌های توزیع عموما در یک شرایطِ مساوی نیستند، لذا می‌بایست برای نیل به اهداف مورد نظر تنظیمگر، شرکت‌های مشابه، با هم ارزیابی شوند و شاخص‌های مربوطه بدست آیند. در این مقاله، الگوریتم جامعی برای خوشه‌بندیِ شرکت‌های توزیع در فرآیند تعیین هزینه‌ی عملیاتی پیشنهاد شده است. در خوشه‌بندی از سه روش بطور موازی استفاده شده که دقت خوشه‌بندی را بیشتر کرده و در هر مرحله از شاخص‌های مختلفِ اعتبارسنجیِ استفاده شده است. در ادامه تاثیر خوشه‌بندی در هزینه‌ی مورد قبول شرکت بررسی شده و با استفاده از شاخصِ انحراف معیار، خوشه‌بندیِ نهایی تعیین می‌شود. در پایان روش پیشنهادی برای شرکت‌های توزیع انگلستان مورد مطالعه قرار گرفته است.**

کلمات کلیدی: **تنظیم مقررات، شرکت‌های توزیع، خوشه‌بندی، اعتبارسنجیِ خوشه‌بندی، تحلیل پوششی داده‌ها، محک‌زنی، خوشه‌بندی K-means، خوشه‌بندی FCM.**

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۲/۰۲/۳۰
تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۴/۰۶/۳۰
تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۴/۰۹/۰۷
نام نویسنده‌ی مسئول: صادق امانی بنی
نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران – پل نصر– دانشگاه تربیت مدرس – دانشکده‌ی برق و کامپیوتر

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.2.6]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol13 No.1 Spring 2016

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، بویژه دو دهه اخیر، توجه خاصی به مسأله‌ی خصوصی سازی همراه با تنظیم مقررات مناسب در بسیاری از بخش‌ها و صنایع، بخصوص در خدمات زیربنایی مثل صنعت برق که شامل بخش‌های دارای انحصار طبیعی می‌باشد، در اغلب کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، صورت گرفته است. سیستم توزیع از بخش‌های دارای انحصار طبیعی می‌باشد. در تنظیم مقررات شرکت‌های توزیع، بحث قیمتگذاری خدمات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

منظور از رگولاسیون[۱] یا تنظیم مقررات، فرآیندی است که طی آن نهادهای ناظر به نظارت، تدوین قوانین و تعیین قیمت برای شرکت‌های تحت نظارت خود می‌پردازند. تنظیمگر می‌تواند در رفتارها محدودیت ایجاد کند، تشویق‌هایی در نظر گیرد و راه مداخلات سیاسی را تشخیص و کاهش دهد. تصمیمات از طریق بخش اجرایی یا نهاد تنظیمگرتحت قوانین مربوطه اجرا می‌شود [۱].

روش‌های قیمت‌گذاری را می‌توان در دو گروه کلیِ مبتنی بر هزینه و مبتنی بر عملکرد تقسیم‌بندی کرد. روش نرخ بازگشت از روش‌های مبتنی بر هزینه است که ایده‌ی اصلیِ آن این است که بنگاه‌های انحصاری نیاز دارند قیمتی به آن‌ها پرداخت شود که در یک بازار رقابتی به سودشان باشد و با هزینه‌ی مؤثرِ تولید یا ارائه خدمات بعلاوه یک نرخ بازگشت سرمایه، برابر باشد. این روش، به این علت که موجب افزایش و تشویقِ بی‌توجهی به هزینه‌ها می‌گردد، مورد انتقاد است. همچنین، اگر نرخ بازگشت بسیار زیاد باشد، موجبِ بالا رفتن و ناکارآمدیِ نسبت سرمایه به نیروی انسانی می‌شود. این روش تا مدت‌های زیادی مورد استفاده بوده؛ اما با شروع خصوصی‌سازی، روش‌های مبتنی بر عملکرد مورد توجه قرار گرفته‌اند [۲].

از روش‌های مبتنی بر عملکرد می‌توان به روش‌های سقف قیمت، سقف درآمد و یاردستیک (که یکی از روش‌های مدرن و قانونمند در قیمتگذاری سیستم توزیع تجدید ساختاریافته است) اشاره کرد. روش‌های دیگری نظیر روش‌های میزان تعدیل ، هزینهٔ جزء به جزء ، فهرستی از قراردادها ، تشویق هدف و روش‌های ترکیبی نیز در این گروه قرار می‌گیرند [۲].

در روش‌های تنظیم مبتنی بر عملکرد برای نشان دادن عملکرد، شاخصی بنام شاخص عملکرد تعریف می‌شودکه توسط تنظیمگر تعیین می‌شود. عموما شاخص عملکرد درفرآیند محک‌زنی و دیگر ارزیابی‌های تنظیمگر قرار می‌گیرد. محک‌زنی به دو روش کلیِ میانگین و مرزی انجام می‌شود. حال در مرحله‌ی محک‌زنی اگر همه‌ی شرکت‌ها با هم محک‌زنی شوند، تنظیمگر از سیستم تنظیم عادلانه بدور می‌شود؛ چراکه شرکت‌های مختلف در شرایط مختلفی قرار دارند، لذا برای غلبه بر این مشکل خوشه‌بندیِ شرکت‌های توزیع مطرح می‌شود. کاربرد عمده‌ی خوشه‌بندی در سیستم توزیع مربوط به خوشه‌بندیِ مشترکین و منحنی‌های بار آن‌ها است .در این راستا تحقیقات زیادی انجام شده است .از این تحقیقات می‌توان مرجع [۳] را مثال زد که در استخراج الگوی بار مشترکین تجاری تهران، از روش خوشه‌بندی K-means وزن‌دهی شده استفاده کرده است. مراجع [۴] و [۵] روش‌های K-means وزن‌دهی شده، K-means، سلسله‌مراتبی و ... را به ترتیب در خوشه‌بندی منحنی بار و مشترکان بکارگرفته و نتایج را با دو شاخصِ پراکندگی و میانگین ارزیابی کرده اند. در[۶] برای محاسبات تلفات انرژی در سیستم فشارضعیف توزیع از روش خوشه‌بندیِ فازی استفاده شده است. در [۷] و [۸] از تکنیک‌های خوشه‌بندی برای بررسیِ پروفایلِ بار در پست‌های توزیع استفاده شده است.

در برخی مراجع مانند [۹] به اعتبارسنجیِ خوشه‌بندی پرداخته شده است. در مورد خوشه‌بندیِ شرکت‌های توزیع [۱۰]با روش K-means شرکت‌های توزیع ایران رابا استفاده از تعداد مشترکین بر طول شبکه، بار پیک و سطح سرویس‌دهی در سه خوشه قرار داده است. [۱۱] از روش FCM[۲] برای خوشه‌بندی استفاده کرده و از چندین شاخص ارزیابی استفاده کرده و از شاخص‌های [۱۰] استفاده کرده است.

با توجه به اینکه مراجع بررسی شده تمرکز جامعی بر خوشه‌بندی نداشته و اینکه خوشه‌بندی تأثیر بسزایی در هزینه‌های شرکت‌ها دارد، در این مقاله تاثیر آن بر هزینه‌ی مورد پذیرش شرکت‌ها بر اساس الگوریتم پیشنهادی بررسی می‌شود.

در ادامه بعد از مرور برخی روش‌های تنظیم، محک‌زنی و خوشه‌بندی، الگوریتم پیشنهادی خوشه‌بندیِ شرکت‌های توزیع تشریح شده و بر اساس آن، خوشه‌بندیِ شرکت‌های توزیع انگلستان انجام می‌شود.

۲- تنظیم مقررات شرکت‌های توزیع

تنظیمگر مقررات با تنظیم مقررات برای شرکت‌های تحت نظارت خود، آن‌ها را پایش کرده و در صورت تخطی از قوانین اقدامات لازم را انجام می‌دهد. قلب مسأله‌ی تنظیم مقررات بحث قیمت‌گذاری خدمات است که با دو روش کلی مبتنی بر هزینه و

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.2.6]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.13- No.1 Spring 2016

مبتنی بر کارایی انجام می‌پذیرد. با توجه به اینکه خوشه‌بندی در روش‌های مبتنی بر هزینه که محک‌زنی ندارند، کاربرد خاصی ندارد لذا به بحث روش‌های مبتنی بر عملکرد می‌پردازیم.

تنظیم کنندگان مقررات و دیگر تعیین‌کنندگان خط مشی سیاسی، دارای اهداف خاصی در بحث انرژی هستند که عبارتند از؛ دسترس پذیری تقریباً جامعِ خدمات، قیمت‌های قابل پرداخت و کیفیت خدمات. سؤال اساسی برای تنظیم کنندگان مقررات این است که تا چه حدی از تلاش و هزینه مورد نیاز است. معمولاً نهادها بهتر از تنظیم کنندگان مقررات پاسخ این سؤال را میدانند. به عنوان مثال، یک شرکت، عموماً بیشتر از تنظیم‌کننده مقررات می‌داند که برای فراهم کردن سطح خاصی از کیفیت برای توسعه شبکه، چه مقدار باید هزینه کند. دلیل این موضوع این است که تنظیم‌کننده مقررات نمی‌تواند بصورت مستقیم بر توانایی‌های ذاتی بهره‌بردار و درجه‌ی تلاش او نظارت کند. این مشکلات، عدم تقارن اطلاعات یا مسأله‌ی کارفرما-کارگزار نام دارد. برای حل این مشکل، تنظیم‌کننده مقررات به بهره‌بردار پاداش‌های مالی پیشنهاد می‌دهد تا هزینه‌ها و یا تلاشِ اعمال‌شده را کنترل کند. در واقع، هدف از اصلاح روش‌های تنظیم قیمت از روش‌های عمومی به روش‌های تشویقی، تشویق شرکت‌ها به تقویت بهره‌برداری و سرمایه‌گذاری کارآمد است؛ بنحوی که مصرف‌کنندگان نیز از منفعت دستاوردهای کارآمدی مطمئن شوند[۱۲]. در ادامه سه روش سقف قیمت، سقف درآمد و یاردستیک تشریح می‌شوند.

در روش سقف قیمت، برای قیمت، سقف تعیین می‌شود. در رابطه‌ی (۱)، شکل رایج وضعِ سقف قیمت برای شرکت i نشان داده شده است [۱۳].

$$P_{i,t} = P_{i,t-1} \times \left(1 + RPI - X_i\right) + / - Z_i \qquad (۱)$$

برای هر دوره، سقف قیمت Pt بر اساس سقف قیمت در دوره گذشته یعنی Pt-1 محاسبه می‌شود و باید با استفاده از RPI(نرخ تورم) منهای فاکتور کارآیی X که توسط تنظیمگر تعیین می‌شود، تنظیم گردد. سقف قیمت، با استفاده از فاکتور Z تصحیح می‌گردد تا از این طریق، تأثیر پدیده‌های غیرعادی که هزینه‌های شرکت را تحت تأثیر قرار می‌دهند، لحاظ گردد. یکی از معایب این روش این است که مشوق‌های بیشینه‌سازیِ فروش، با اهداف برنامه‌های مطلوب اجتماعی مانند معیارهای مدیریت سمت مصرف در تناقض است [۱۴].

تنظیمِ مقررات با سقف درآمد، حداکثر درآمد مجازی را که شرکت می‌تواند بدست بیاورد، تعیین می‌کند. در رابطه‌ی (۲)، شکل رایج سقف درآمد برای شرکت i آمده است[۱۵].

$$\bar{R}_{i,t} = \left(\bar{R}_{i,t-i} + CGA_i \times \Delta Cust_i\right) \times \left(1 + RPI - X_i\right) + / - Z_i \qquad (۱)$$

$\bar{R}_i$: درآمد مجاز.

CGA_i : ضریب تنظیم رشد مشتری (مشتری/$).

$\Delta Cust_i$: تغییر در تعداد مشتریان.

X_i : ضریب کارآیی.

Z_i : ضریب تنظیم برای پیشامدهای خارج از کنترل.

روش سقف درآمد، می‌تواند به شکل درآمد به ازای هر مشتری نیز درآید که در آن حالت CGA برابر با درآمد متوسط به ازای هر مشتری است. یکی از مزایای این روش تطابق با معیارهای مدیریت سمت مصرف می‌باشد؛ هرچند این روش بخاطر محدود کردن مشوق‌های قدرتمند برای افزایش فروش و رقابت مورد انتقاد بوده و ناکارآمد توصیف شده است.

در روش یاردستیک معیار اصلی، یک شرکت کارای فرضی است. سطح هزینه بهینه از طریق مهندسین اقتصاد با تعریف مدل شرکت تحلیل می‌شود. مهمترین عیب این روش این است که پیشینه سیستم در نظر گرفته نمی‌شود. عیب دیگر این است که هزینه‌های بلند مدت برای شرکت‌های تنظیم شده در نظر گرفته می‌شود و شرکت‌ها ممکن است نتوانند هزینه‌های ثابت و جاری خود را پوشش دهند [۱۶و۱۷].

رابطه‌ی (۳)، شکل رایج تعیین سقف قیمت را در این روش نشان می‌دهد [۱۵].

$$P_{i,t} = \alpha_i C_{i,t} + \left(1 - \alpha_i\right) \sum_{j=1}^{n} \left(f_j C_{j,t}\right) \qquad (۳)$$

P : سقف قیمت کلی شرکت است.

α: سهم اطلاعات قیمتی شرکت است.

C_i : هزینه‌ی واحد شرکت است.

f_j: درآمد یا مقدار وزن‌های گروه مشابه j‌ام از شرکت‌هاست.

$C_{j,t}$: هزینه یا قیمت واحد برای گروه مشابه j‌ام از شرکت‌هاست.

n : تعداد گروه‌های مشابه از شرکت‌هاست.

همانطور که در دو روش سقف قیمت و سقف درآمد مشاهده می‌شود، ضریب کارایی نقش بسیار مهمی دارد و عموما تنظیمگر برای دستیابی به آن از محک‌زنی استفاده می‌کند که اگر بخواهد شرکت‌های مشابه را محک‌زنی کند، ناگزیر به استفاده از خوشه‌بندی می‌باشد.

در روش یاردستیک که از رابطه‌ی آن هم مشخص است گروه‌های مشابه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و برای دستیابی به این گروه‌ها می‌بایست خوشه‌بندی انجام داد. اینکه یک شرکت با

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.2.6]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol13 No.1 Spring 2016

چه شرکت‌هایی در یک خوشه قرار گیرد تاثیر بسزایی در هزینه‌ی مورد قبول آن دارد.

۳- محک‌زنی

عملکرد واقعی شرکت‌ها، نسبت به برخی محک‌های از پیش تعریف‌شده سنجیده می‌شود. دو مسأله‌ی اصلی، انتخاب محک و تکنیکی برای سنجش عملکرد مطرح می‌شوند. تنظیم‌کنندگان مقررات، از تکنیک‌ها و روش‌های محک‌زنی متعددی برای تنظیمِ مقررات تشویقی استفاده می‌کنند. بر اساس یکی از دسته‌بندی‌های موجود، عملکرد واقعی می‌تواند بر مبنای محک‌هایی از درون شرکت‌ها یا از بیرون آن‌ها سنجیده شود. سنجش بر اساس دو نوع محک انجام می‌شود؛ محکی که بهترین عملکرد مرزی[۳] را نشان می‌دهند و معیارهایی که متوسط عملکرد نمونه[۴] را نشان می‌دهند. از دیدگاه سیاست تنظیمِ مقررات، تفاوت اساسی بین محک‌زنی مرزی و میانگین وجود دارد. در اولی، تمرکز شدیدی بر تغییرات عملکردی بین بنگاه‌ها وجود دارد.

روش‌های محک‌زنی مرزی، مرزهای عملکرد کارآمد را از بین بهترین تجربه‌ها در صنعت یا از بین نمونه‌ای از بنگاه‌ها شناسایی می‌کند یا تخمین می‌زند. مرز، محکی است که عملکرد نسبی بنگاه‌های دیگر در برابر آن سنجیده می‌شود. اصلی‌ترین روش‌های محک‌زنیِ مرزی، تحلیل پوششی داده‌ها (DEA[۵])، حداقل مربعات معمولی تصحیح‌شده (COLS[۶]) و تحلیل تصادفیِ مرز (SFA[۷]) هستند. DEA بر مبنای تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی است و COLS و SFA بر مبنای روش‌های تصادفی هستند. در DEA کارآیی بنگاه تخمین زده نمی‌شود، بلکه محاسبه می‌گردد. DEA یک مرز کارآیی شناسایی می‌کند که از کارآترین بنگاه‌ها در بین نمونه‌های موجود تشکیل می‌شود. امتیاز کارآیی نسبی بنگاه‌های با کارآیی کمتر، نسبت به بنگاه‌های موجود سنجیده می‌شود [۱۳], [۱۸].

در COLS و SFA کارآیی نسبی تخمین زده می‌شود. هر دو تکنیک، نیاز به مشخص کردن تابع هزینه یا تولید دارند [۱۸], [۱۳].

از روش‌های میانگین، حداقل مربعات معمولی (OLS[۸]) است که با دقت بالایی، به روش COLS مربوط است. در روش OLS تابع هزینه یا تولید میانگین برای یک نمونه از بنگاه‌ها تخمین زده می‌شود. عملکرد واقعی بنگاه‌ها، از طریقِ اتصال ورودی‌ها، خروجی‌ها و اطلاعات محیطی به تابع تخمینی و سنجیدن آن با عملکرد تخمینیِ آن‌ها مقایسه می‌شود [۱۸], [۱۳].

با توجه به استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها، این روش بطور خلاصه ارائه می‌گردد. تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) یک تکنیک برنامه‌ریزی خطی است که هدف اصلی آن، مقایسه و ارزیابی کارایی تعدادی از واحدهای تصمیم‌گیرنده (DMU[۹]) است که مقدار ورودی‌های مصرفی و خروجی‌های تولیدی متفاوتی دارند. مدل‌های DEA می‌توانند از دو رویکرد مجزا استفاده کنند [۱۴]:

کاهش میزان ورودی‌ها بدون تغییر در میزان خروجی‌ها (رویکرد ورودی ـ محور)

افزایش میزان خروجی‌ها بدون تغییر در میزان ورودی‌ها (رویکرد خروجی ـ محور)

البته حالت سومی هم وجود دارد که هردو تغییر یابند ولی عموما این دو مورد توجه هستند. مدل پایه در تعیین کارایی مدل بازده ثابت به مقیاس (CRS[۱۰]) که متشکل از حروف آغازین مبدِعین آن (چارنز، کوپر، رودز) است. مدلِ پایه این روش در رابطه‌ی (۴) آمده است [۱۰]:

$$\begin{aligned} &\min \theta_0 \\ &\theta_0 x_{i0} \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \qquad i=1,\ldots,m \\ &y_{r0} \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj}, \qquad r=1,\ldots,s \\ &\lambda_j \geq 0 \qquad j=1,\ldots,n \end{aligned} \qquad (۲)$$

θ_0 کارایی است.

x_{ij} مقدار ورودی k واحد تصمیم گیری i ام است.

y_{rj} مقدار خروجی k واحد تصمیم گیری i ام است.

λ_j وزن‌های ورودی و خروجی‌های تمام واحدهای تصمیم‌گیری است.

۴- خوشه‌بندی

تحلیل داده در طراحی و کاربردهای محاسباتی نقش اساسی ایفا می‌کند. تحلیل خوشه و یا خوشه‌بندی، سازماندهی مجموعه‌ای از الگوها یا قلم‌های داده‌ای در خوشه‌ها و یا دسته‌ها بر اساس شباهت آن‌ها است. برای ساده‌سازی مدلسازی داده‌ها، الگوها به طور معمول به صورت نقطه‌هایی در فضای چندبعدی در نظر گرفته می‌شوند تا بتوان شباهت آنها به یکدیگر را به صورت ریاضی بیان کرد. هر بعد این فضا بیانگر یک ویژگی از داده‌ها است. پس از عملیات خوشه‌بندی، داده‌هایی که در یک خوشه قرار می گیرند، باید بیشترین شباهت را به یکدیگر داشته باشند و در عین حال بیشترین تفاوت را با داده‌های خوشه‌های دیگر

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.2.6]

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.13- No.1 Spring 2016

دارا باشند. خوشه‌بندی به طور کلی شامل چهار گام انتخاب و استخراج ویژگی، محاسبه فاصله‌ی الگوها، گروه‌بندی بر اساس فاصله میان الگوها و سرانجام ارزیابی و صحت‌سنجی گروه‌های ایجاد شده است. الگوریتم‌های خوشه‌بندی بر مبنای نوع نگرش آن‌ها در چگونگی گروه‌بندی الگوها به دسته‌های گوناگونی طبقه-بندی می‌شوند. به طور کلی می‌توان الگوریتم‌های خوشه‌بندی را بر اساس نوع نگرش الگوریتم‌های خوشه‌بندی به عضویت الگو در خوشه‌ها، به دو دسته خوشه‌بندی قطعی و خوشه‌بندی فازی طبقه‌بندی نمود [۱۹].

در ادامه با توجه به [۱۹] که مرور جامعی بر روش‌های خوشه‌بندی انجام داده است، سه روش سلسله‌مراتبی، K-means و FCM بطور خلاصه معرفی می‌شوند.

در روش سلسله مراتبی دو رویکرد بالا به پایین و پایین به بالا وجود دارد. در رویکرد اول همه‌ی نقاط در یک خوشه قرار گرفته و در هر مرحله با توجه به معیار فاصله به خوشه‌های بیشتر تجزیه شده تا در نهایت هر نقطه یک خوشه می‌شود. رویکرد دوم ابتدا هر نقطه را در یک خوشه درنظر گرفته و در هر مرحله با توجه به معیار فاصله تعداد خوشه زیاد شده تا به یک خوشه برسد. در هر مرحله با توجه به معیارهایی می‌توان خوشه‌بندی را متوقف کرد.

الگوریتم کلیِ روش K-means عبارتست از:

۱. انتخاب مراکز خوشه‌ها،

۲. خوشه‌بندی نقاطی که کمترین فاصله را از مرکز خوشه k ام دارند. لازم به ذکر است که این فاصله به صورت فاصله اقلیدسی بین دو بردار تعریف می‌شود.

۳. محاسبه مراکز خوشه: به این صورت که در هر خوشه با متوسط‌گیری از فاصله‌ی بین نقاط و تقسیم آن بر تعدادشان بدست می‌آید.

٤. در صورتی که مراکز جدید خوشه با مراکز قبلی یکسان باشد و روش تکرار در مرحله اول نباشد این روش خاتمه یافته و در غیر این صورت مرحله دوم تکرار خواهد یافت.

در روش FCM که از روش‌های فازی است، در نهایت میزان عضویتِ هر نقطه به هر خوشه و مراکز خوشه‌ها تعیین می‌شود. بیشتر الگوریتم‌های فازی سعی می‌کنند افراز موجود را با به حداقل رساندن فواصل داده‌ها تا مرکز خوشه‌ی آن‌ها بهینه کنند. در این روش افرازی فازی و بهینه از مجموعه‌ی داده‌ی X در c خوشه تولید می‌شود و تابع هدف و قید مربوطه در رابطه‌ی (۵) بهینه (حداقل) می‌شود:

$$J_f(X,U_f,C)=\sum_{i=1}^{c}\sum_{j=1}^{n}u_{ij}^{m}d_{ij}^{2} \qquad (۳)$$

$$s.t. \qquad \sum_{j=1}^{c}u_{ij}=1 \qquad \forall_i=1,\ldots,n$$

d_{ij} فاصله‌ی بین داده x_j و مرکز خوشه‌ی i ام است. U_f ماتریس درجات عضویت داده‌ها در خوشه‌ها است و X مجموعه-ی داده‌هاست. C، مجموعه‌ی خوشه‌ها شامل تمامی خصوصیات هر خوشه (مرکز و احتمالاً اندازه و شکل) است. پارامتر m>۱ ، فازیگر یا توان وزن‌دهی گفته می‌شود که معمولاً m برابر ۲ انتخاب می‌شود. اگر در رابطه‌ی ۴، m=۱ انتخاب شود، مقداردهی خوشه‌ها قطعی خواهد بود. هر چقدر m بزرگتر باشد، مرزهای خوشه‌ها ملایم‌تر و نادقیق‌تر خواهد بود. [۲۰]. با حل مسأله فوق به یکی از روش‌های مرسوم مثل روش لاگرانژ، مراکز خوشه‌ها و درجه‌ی عضویت هر نقطه به هر خوشه تعیین می‌شود.

۴-۱- اعتبارسنجیِ خوشه‌بندی

اعتبارسنجیِ خوشه‌بندی برای تعیین تعداد خوشه‌ی مناسب و روش خوشه‌بندیِ مناسب بکار می‌رود. نکته‌ی مهم در بحث شاخص‌ها این است که شاخص‌ها بطور قطعی تعداد خوشه‌ی بهینه را تعیین نمی‌کنند و نظر خبره نیز می‌بایست در اعتبارسنجی بکار گرفته شود. شاخص‌های مختلفی برای اعتبارسنجیِ خوشه‌بندی توسط محققین ارائه شده است که در ادامه مطرح می‌شوند[۲۱]:

ضریب تفکیک (PC[۱۱]):اشتراک بین خوشه‌ها را در روش‌های فازی اندازه می‌گیرد.

پراکندگیِ دسته‌بندی (CE[۱۲]):این شاخص مشابهِ PC بوده و فقط میزان فازی بودنِ تفکیکِ دسته‌بندی را تعیین می‌کند.

شاخصِ تفکیک[۱۳] (SC): این شاخص برابر با نسبت جمع فشردگی به جمع جداییِ خوشه‌ها می‌باشد

شاخصِ جداسازی[۱۴] (S): این شاخص بر خلافِ SC، از مینیمم فاصله‌ی مراکزِ خوشه‌ها برای اعتبارسنجی استفاده می‌کند

شاخصِ دون[۱۵] (DI): این شاخص برای تعیینِ فشردگی و جداییِ خوشه‌ها، توسط آقای دون پیشنهاد شده است.

شاخصِ فرعی دون (ADI[۱۶])این روش اصلاح‌شده‌ی شاخص دون است که در آن بجای استفاده از فاصله‌ی دو نقطه، تفاوتِ

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.2.6]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol13 No.1 Spring 2016

فاصله‌ی هر نقطه تا مرکز خوشه درنظر گرفته شده است؛ دلیل این کار کمتر بودن مقدار جدید از فاصله‌ی بین دو نقطه است.

مقادیر بیشتر شاخص‌های PC، DI و ADI و مقادیر کمتر CE، S و SC مناسب‌تر می‌باشند. البته نکته قابل توجه این است که در برخی موارد این شاخص‌ها با افزایش تعداد خوشه‌ها کم یا زیاد می‌شوند که در این موارد ابتدا یا انتهای تغییرات در نظرگرفته می‌شود.

۵- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی در شکل (۱) آمده است. در این روش از سه روش خوشه‌بندی استفاده شده و اعتبارسنجی خوشه‌بندی در هر یک از روش‌ها و همچنین سه روش انجام می‌شود. نکته قابل توجه این است که روش سلسله مراتبی بعنوان یک ابزار کمکی استفاده شده و در روش نهاییِ خوشه‌بندی قرار نمی‌گیرد. در ادامه چندین گزینه‌ی مناسب برای خوشه‌بندی تعیین می‌شود و با این گزینه‌ها هزینه‌ی عملیاتی شرکت توزیع بصورت زیر تعیین می‌شود. با توجه به اینکه [۲۲] از مقالات بروز علمی و عملی است و استفاده ازتحلیل پوششی داده‌ها و تنظیم RPI-X را پیشنهاد داده، مدل پیشنهادی این مقاله مطابق مدل رابطه‌ی (۶) است.

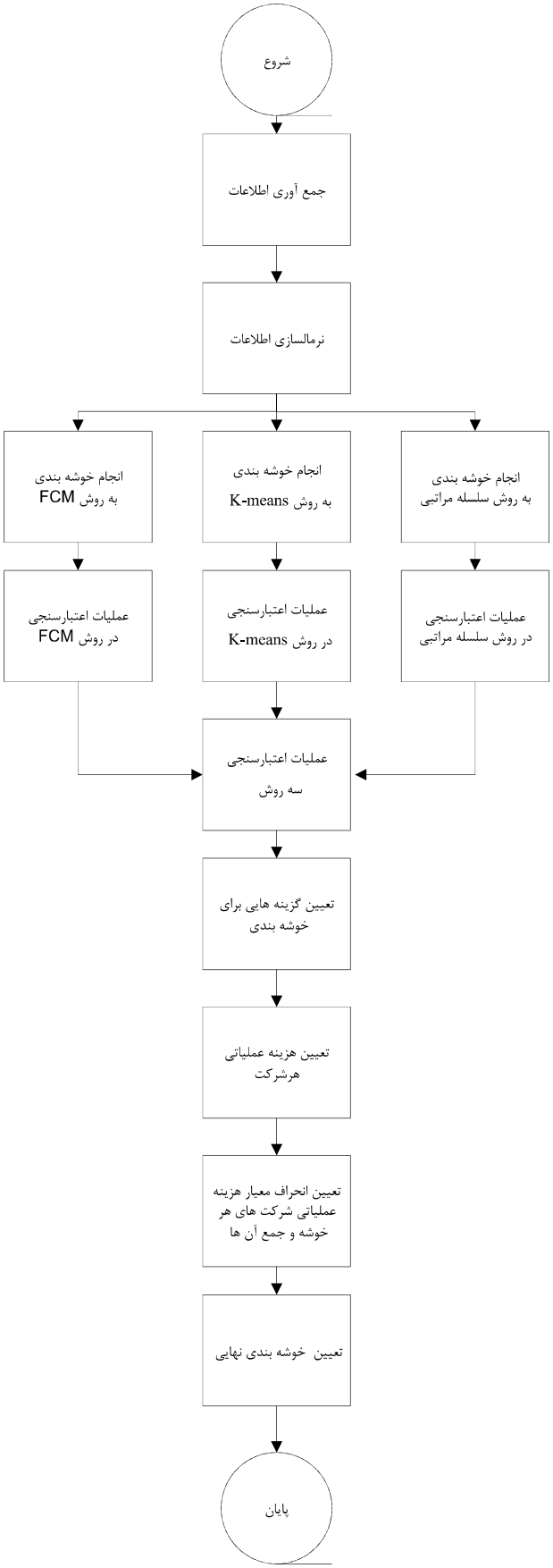
$$OPEX_{i,t} = OPEX_{i,t-1} \times \left(RPI + X_i\right) \qquad (۴)$$

$OPEX_{i,t}$ و $OPEX_{i,t-1}$ بترتیب هزینه‌ی عملیاتیِ شرکت توزیع i در سال کنونی و پیش می‌باشند. X_i شاخص کارایی است که از رابطه‌ی (۷) که میانگینِ وزنیِ کارایی شرکت در کل شرکت‌ها و در خوشه‌ی خود است، بدست می‌آید.

$$X_i = \frac{2 \times \theta_i + \theta_{i,c}}{3} \qquad (۵)$$

θ_i و $\theta_{i,c}$ بترتیب کارایی شرکت با وجود همه‌ی شرکت‌ها و با وجود شرکت‌های خوشه‌ی مربوطه می‌باشند.

درنهایت هزینه‌ی عملیاتیِ شرکت‌ها تعیین می‌شود. با توجه به اینکه در یک خوشه، شرکت‌های مشابه قرار دارند؛ شاخص انحراف معیارِ هزینه‌ی عملیاتیِ نهایی بعنوان شاخص درنظر گرفته شده و بر اساس آن بهترین خوشه‌بندی تعیین می‌شود.



شکل (۱): روندنمای روش پیشنهادی

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.2.6]

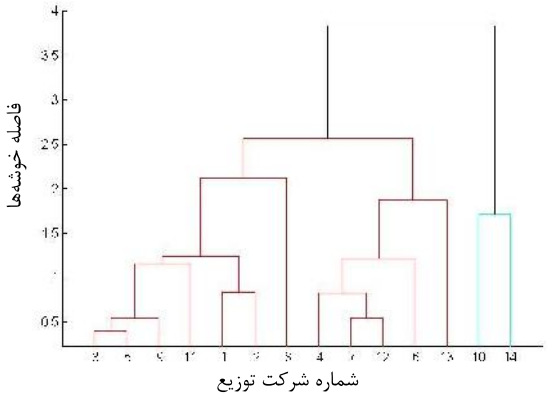
۶- مطالعه‌ی موردی

در این بخش روند پیشنهادی در مورد ۱۴ شرکت‌های توزیع انگلستان اعمال می‌شود. اطلاعات ورودیِ خوشه‌بندی متوسط ۴ساله می‌باشند، که در جدول (۱) آمده‌اند.

جدول ۱- اطلاعاتِ ورودیِ خوشه‌بندی

	متوسط طول خطوطِ ولتاژ زیاد (km)	متوسط طول خطوطِ ولتاژ کم (km)	متوسط مقدار انرژی (GW)	متوسط تعداد مشتریانِ
۱	۳۰۶۰۵	۳۱۴۶۴٫۹۲	۲۶۲۱۴٫۱۷	۲۴۲۴۷۲۶
۲	۳۲۸۴۴٫۳۵	۳۷۹۹۰٫۰۳	۲۹۳۳۹٫۱۳	۲۵۶۷۳۰۷
۳	۲۵۹۹۰٫۹۱	۳۰۵۰۶٫۱۸	۲۵۴۷۷٫۲۸	۲۳۳۷۹۰۸
۴	۲۱۲۷۳٫۳۶	۱۸۳۲۸٫۴۱	۱۶۶۵۳/۵۷	۱۵۵۷۷۲۴
۵	۲۴۱۱۹٫۷۶	۲۸۰۳۳٫۷	۲۴۱۵۵٫۲۷	۲۲۳۵۶۲۱
۶	۲۰۸۶۱٫۲	۱۳۹۱۶٫۳۳	۱۲۵۹۴٫۶۸	۱۰۸۵۰۳۹
۷	۲۸۳۹۲٫۶۷	۲۱۲۱۰٫۷۲	۱۵۲۴۰٫۳۵	۱۵۰۹۵۸۹
۸	۱۳۶۰۹٫۶	۲۲۲۸۲٫۲	۲۹۸۱۶/۱۵	۲۲۲۱۰۹۲
۹	۲۱۴۲۸٫۶	۳۰۱۸۸٫۲۶	۲۲۶۵۰٫۷۲	۲۲۲۵۲۷۹
۱۰	۴۶۵۶۲٫۴۲	۴۸۰۲۲٫۷۲	۳۶۳۰۳٫۷۲	۳۴۷۵۳۳۱
۱۱	۳۱۹۶۴٫۸۴	۳۰۴۰۹٫۳۵	۲۰۹۶۹٫۴۷	۱۹۸۹۲۵۸
۱۲	۲۴۷۴۹٫۶۴	۲۳۸۶۸٫۸۴	۱۶۷۶۷/۷۴	۱۴۸۱۰۱۱
۱۳	۳۲۹۲۳٫۶	۱۳۳۴۴٫۶	۸۵۷۱/۶۴۰	۷۱۹۰۷۷٫۴
۱۴	۳۷۵۸۶٫۶۸	۳۸۲۲۰٫۸۶	۳۴۲۲۷٫۳۱	۲۸۷۱۳۶۷

نتایج حاصل از خوشه‌بندی به روش سلسله مراتبی در نمودار شکل (۲) آمده است.



شکل (۲): نتایج حاصل از روش سلسله مراتبی

در این روش معیار تعیین تعداد خوشه‌ی مناسب قسمت‌های عمودیِ نمودار می‌باشد و در مکانی که بیشتر ممتد باشد، آن قسمت برای قطع نمودار و تعیین اعضای خوشه‌ها مناسب است. با توجه به شکل ۲، تعداد خوشه‌ی ۶ و ۳ می‌باشند.

روش K-means به اطلاعاتِ ورودی اعمال شده و شاخص‌های خوشه‌بندی در جدول (۲) آمده است.

جدول (۲): شاخص‌های خوشه‌بندی در روش K-means

	SC	S	DI	ADI
۲	۱٫۰۶۳۳۴۴	۰٫۰۷۵۹۵	۰٫۰۹۶۵۲۷	۰٫۰۴۴۶۲۶
۳	۰٫۴۸۱۱۸	۰٫۰۵۶۷۰۵	۰٫۳۱۹۳۵	۰٫۰۲۴۶۴۶
۴	۰٫۳۳۴۴۳	۰٫۰۳۶۱۹۷	۰٫۳۲۳۳۸	۰٫۰۲۰۲۵
۵	۰٫۳۷۸۳۶۱	۰٫۰۴۴۴۹	۰٫۲۳۷۶۱۱	۰٫۰۰۰۷۱
۶	۰٫۲۳۰۱۲	۰٫۰۲۵۲۷	۰٫۲۴۷۵۵	۰٫۰۱۰۹۳
۷	۰٫۲۳۰۶۴۷	۰٫۰۲۵۵۷	۰٫۲۴۷۵۵	۰

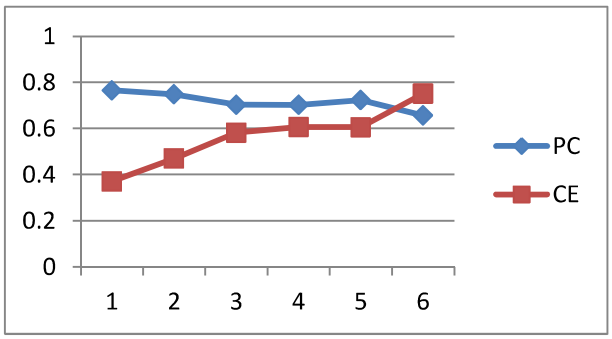
با توجه به شاخص‌هایِ S، SC، DI و ADI بترتیب تعداد خوشه‌ی ۶، ۶، ۴ و ۲ مناسب می‌باشند.

روش FCM نیز بر اطلاعات اعمال و شاخص‌ها در جدول (۳) آمده است.

جدول (۳): شاخص‌های خوشه‌بندی در روش FCM

	PC	CE	SC	S	DI	ADI
۲	۰٫۷۵۳۵	۰٫۳۸۴۰	۰٫۳۵۷۱	۰٫۰۲۵۵	۰٫۳۲۷۲	۰٫۰۴۲۹
۳	۰٫۷۳۸۷۲	۰٫۴۸۴۹	۰٫۱۶۹۳	۰٫۰۲۰	۰٫۳۱۹	۰٫۰۹۹۴
۴	۰٫۶۹۴۱	۰٫۵۹۸۴	۰٫۱۲۵۸	۰٫۰۱۴	۰٫۳۲۳	۰٫۰۴۰۵
۵	۰٫۶۹۳۹	۰٫۶۲۰۶	۰٫۰۸۸۲	۰٫۰۰۹	۰٫۲۲۳	۰٫۰۴۱۶
۶	۰٫۷۱۵۵	۰٫۶۱۹۳	۰٫۰۷۳۴	۰٫۰۰۸	۰٫۶۱۹	۰٫۰۱۶۶
۷	۰٫۷۱۱۵	۰٫۶۴۷۳	۰٫۰۷۴۲	۰٫۰۰۸	۰٫۴۳۳	۰٫۰۰۱۴

شاخص‌های PC، CE، S، SC، ADI و DI بترتیب تعداد خوشه‌ی مناسبِ ۲، ۲، ۶، ۶، ۳ و ۳ را مشخص می‌کنند. برای بررسی بیشتر روند تغییرات دو شاخص PC و CE در شکل (۳) آمده است؛ مشاهده می‌شود که در نقطه‌ی ۵ که معادل ۶ خوشه است بترتیب یک بیشینه محلی و کمینه محلی برای PC و CE وجود دارد؛ لذا با توجه به توضیحات بخش قبل، ۶ خوشه توسط این دو شاخص تایید می‌شود.



شکل (۳): تغییرات PC و CE بر حسب تعداد خوشه

با مقایسه‌ی شاخص‌های مربوط به روش‌های K-means و FCM مشاهده می‌شود مقادیر روش FCM بهتر بوده و لذا این روش بعنوان روش مناسب انتخاب می‌شود.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.2.6]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol13 No.1 Spring 2016

با توجه به نتایج حاصل از خوشه‌بندی که در سه روش مذکور بدست آمده و اینکه وجود ۲ خوشه با وجود فاصله‌ی زیاد اطلاعات اولیه عملی نیست، لذا تعداد خوشه‌ی ۳، ۴ و ۶ بعنوان گزینه‌های خوشه‌بندی در نظر گرفته می‌شوند که نتایج خوشه‌بندی مربوطه با روش FCM در جدول (۴) آمده است.

جدول (۴): نتایج خوشه‌بندی با ۳،۴ و۶ خوشه به روش FCM

۶ خوشه	۴ خوشه	۳ خوشه	شرکت
۶	۳	۱	۱
۱	۳	۳	۲
۶	۳	۱	۳
۴	۲	۲	۴
۶	۳	۱	۵
۴	۲	۲	۶
۴	۲	۲	۷
۳	۳	۱	۸
۶	۳	۱	۹
۵	۱	۳	۱۰
۶	۳	۱	۱۱
۴	۲	۲	۱۲
۲	۴	۲	۱۳
۱	۱	۳	۱۴

با توجه به روش خوشه‌بندی به روش FCM و رابطه‌ی (۵) نتایج خوشه‌بندی معلوم می‌گردد. حال با رابطه‌ی (۴) کارایی شرکت‌ها با توجه به شرکت‌های هم‌خوشه و یک بار دیگر با حضور کل شرکت‌ها تعیین شده و مطابق رابطه ۷، X بدست می‌آید. هزینه‌ی عملیاتی شرکت‌ها [۲۳] و انحراف معیارشان در جدول (۵) آمده است. مقدار RPI با توجه به [۲۴]، ۰.۰۰۴۵۸ درنظر گرفته شده است. لازم به ذکر است.

جدول (۵): هزینه‌ی عملیاتی و انحراف معیار آن با ۳ خوشه

انحراف معیار کلی	انحراف معیار در خوشه	هزینه‌ی عملیاتی ($m£$)	شرکت
۱۴/۳۲۴۳	۴/۲۴۲۲۱۷	۴۹/۵۰۴۲۱	۱
۱۴/۳۲۴۳	۸/۲۸۸۲۹۲	۵۸/۸۹۹۹	۲
۱۴/۳۲۴۳	۴/۲۴۲۲۱۷	۴۶/۷۱۱۸۷	۳
۱۴/۳۲۴۳	۸/۴۷۳۸۶۲	۳۶/۳۷۶۶۲	۴
۱۴/۳۲۴۳	۴/۲۴۲۲۱۷	۴۳/۶۹۹۵	۵
۱۴/۳۲۴۳	۸/۴۷۳۸۶۲	۲۶/۳۲۰۶۱	۶
۱۴/۳۲۴۳	۸/۴۷۳۸۶۲	۳۲/۹۶۷۷۷	۷
۱۴/۳۲۴۳	۴/۲۴۲۲۱۷	۴۴/۸۲۶۲۱	۸
۱۴/۳۲۴۳	۴/۲۴۲۲۱۷	۳۸/۵۹۱۶	۹
۱۴/۳۲۴۳	۸/۲۸۸۲۹۲	۷۲/۳۹۷۴۶	۱۰
۱۴/۳۲۴۳	۴/۲۴۲۲۱۷	۵۰/۰۹۲۱۷	۱۱
۱۴/۳۲۴۳	۸/۴۷۳۸۶۲	۳۵/۱۹۴۳۸	۱۲
۱۴/۳۲۴۳	۸/۴۷۳۸۶۲	۱۵/۸۸۰۴۲	۱۳
۱۴/۳۲۴۳	۸/۲۸۸۲۹۲	۵۷/۳۱۵۰۵	۱۴

جدول (۶): هزینه‌ی عملیاتی و انحراف معیار آن با ۴ خوشه

انحراف معیار کلی	انحراف معیار در خوشه	هزینه‌ی عملیاتی ($m£$)	شرکت
۱۳/۸۱۲۶۱	۷/۱۳۱۱۸۶	۴۶/۲۷۵۰۴	۱
۱۳/۸۱۲۶۱	۷/۱۳۱۱۸۶	۵۸/۸۹۹۹	۲
۱۳/۸۱۲۶۱	۷/۱۳۱۱۸۶	۴۵/۲۳۴۲۹	۳
۱۳/۸۱۲۶۱	۴/۴۹۰۹۸۸	۳۶/۳۷۶۶۲	۴
۱۳/۸۱۲۶۱	۷/۱۳۱۱۸۶	۴۳/۳۳۸۷۹	۵
۱۳/۸۱۲۶۱	۴/۴۹۰۹۸۸	۲۶/۳۲۰۶۱	۶
۱۳/۸۱۲۶۱	۴/۴۹۰۹۸۸	۳۲/۹۶۷۷۷	۷
۱۳/۸۱۲۶۱	۷/۱۳۱۱۸۶	۴۴/۱۰۳۰۴	۸
۱۳/۸۱۲۶۱	۷/۱۳۱۱۸۶	۳۵/۴۶۸۵۳	۹
۱۳/۸۱۲۶۱	۹/۸۰۶۸۴۵	۷۲/۷۶۰۷۸	۱۰
۱۳/۸۱۲۶۱	۷/۱۳۱۱۸۶	۵۰/۰۹۲۱۷	۱۱
۱۳/۸۱۲۶۱	۴/۴۹۰۹۸۸	۳۵/۱۹۴۳۸	۱۲
۱۳/۸۱۲۶۱	۰	۲۱/۰۱۷۸۹	۱۳
۱۳/۸۱۲۶۱	۹/۸۰۶۸۴۵	۵۸/۸۹۱۸۱	۱۴

جدول (۷): هزینه‌ی عملیاتی و انحراف معیار آن با ۶ خوشه

انحراف معیار کلی	انحراف معیار در خوشه	هزینه‌ی عملیاتی ($m£$)	شرکت
۱۳/۶۷۰۱۴	۴/۷۲۷۰۸۳	۴۹/۵۰۴۲۱	۱
۱۳/۶۷۰۱۴	۱/۱۲۰۶۵۸	۵۸/۸۹۹۹	۲
۱۳/۶۷۰۱۴	۴/۷۲۷۰۸۳	۴۶/۷۴۴۱۱	۳
۱۳/۶۷۰۱۴	۴/۴۹۰۹۸۸	۳۶/۳۷۶۶۲	۴
۱۳/۶۷۰۱۴	۴/۷۲۷۰۸۳	۴۳/۶۹۹۵	۵
۱۳/۶۷۰۱۴	۴/۴۹۰۹۸۸	۲۶/۳۲۰۶۱	۶
۱۳/۶۷۰۱۴	۴/۴۹۰۹۸۸	۳۲/۹۶۷۷۷	۷
۱۳/۶۷۰۱۴	۰	۴۴/۸۲۶۲۱	۸
۱۳/۶۷۰۱۴	۴/۷۲۷۰۸۳	۳۸/۵۹۱۶	۹
۱۳/۶۷۰۱۴	۰	۷۲/۷۶۰۷۸	۱۰
۱۳/۶۷۰۱۴	۴/۷۲۷۰۸۳	۵۰/۰۹۲۱۷	۱۱
۱۳/۶۷۰۱۴	۴/۴۹۰۹۸۸	۳۵/۱۹۴۳۸	۱۲
۱۳/۶۷۰۱۴	۰	۲۱/۰۱۷۸۹	۱۳
۱۳/۶۷۰۱۴	۱/۱۲۰۶۵۸	۵۷/۳۱۵۰۵	۱۴

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.2.6]

با توجه به اصل بدیهی که مبنای روش پیشنهادی است، آن تعداد خوشه‌ای مناسب است که انحراف معیار درون خوشه و کلی آن کمتر باشد، با مقایسه‌ی نتایج جداولِ (۵) الی (۷)، مشاهده می‌شود که انحراف کلی و درون خوشه‌ای هزینه‌ها در خوشه‌بندی با ۶ خوشه کمتر بوده و این تعداد خوشه مورد قبول واقع می‌شود. به تعبیر فنی تعداد خوشه‌ای مناسب است که شرکت‌های مشابه موجود در یک خوشه، هزینه‌های عملیاتی مشابه‌تری داشته و انحراف از میانگین هزینه‌های عملیاتیشان کمتر باشد. با تغییر تعداد و ویژگی‌های شرکت‌های موجود در یک خوشه، کارایی شرکت‌ها تغییر می‌کند و در نتیجه کارایی هم‌خوشه‌ها در ضریب X تغییر کرده و هزینه عملیاتی با تغییر تعداد خوشته تغییر می‌کند. روش‌هایی مانند تخصیص ارزش‌محور نیز وجود دارد که می‌تواند در روش بکار رود [۲۵]. با توجه به ظهور منابع انرژی تجدیدپذیر[۲۶] و پاسخ‌گویی بار[۲۷] روش برای آن‌ها نیز می‌تواند اعمال گردد.

۷- نتیجه

در این مقاله، مفاهیم تنظیم مقررات و خوشه‌بندی شرکت‌های توزیع تشریح شده و با توجه به کمبود تحقیقات جامع در خوشه‌بندیِ شرکت‌های توزیع و تاثیر جدیِ خوشه‌بندی در هزینه‌ی مورد قبول شرکت‌ها، روشی جامع و دقیق ارائه شده و بر شرکت‌های توزیع انگلستان اعمال شد.

نتایج نشان داد که هرچند معیارهای خوشه‌بندی تا حدی گزینه‌های مناسبِ خوشه‌بندی را ارائه می‌کنند ولی استفاده از روش مذکور برای اطمینان از عمل صحیح و عدالت محور ضروری بنظر می‌رسد.

از ویژگی‌های روشِ مذکور می‌توان به بررسیِ دقیقِ تاثیر خوشه‌بندی بر هزینه‌های مورد قبول شرکت‌ها اشاره کرد. از مزیت‌های دیگر این روش بلوکی بودن آن است بطوریکه در قسمتِ روش‌های خوشه‌بندی، می‌توان روش‌های دیگر را قرار داد. در قسمت تعیین هزینه‌ی عملیاتی نیز با توجه به روش مورد نظر هر تنظیمگر، روشِ پیشنهادی می‌تواند اعمال شود. با اقبال علمی و عملی به روش‌های تنظیم کیفیت، که عموما مبتنی بر شاخص‌های پایایی هستند، در ادامه این پژوهش می‌توان منحنی جریمه-پاداشی طراحی کرده و نتایج را بررسی نمود.

با توجه به انعطاف روش مذکور، این روش قابلیت اجرا در عمل را هم داشته و این امکان وجود دارد که در مورد شرکت‌های توزیع ایران نیز بکار رود.

مراجع

[1] Sanford V. Berg, Farid Gasmi, and José I. Távara, "GLOSSARY FOR THE BODY OF KNOWLEDGE ON THE REGULATION OF UTILITY INFRASTRUCTURE AND SERVICES." Public Utility Research Center, University of Florida, 30-Jun-2005.

[2] T. Jamasb and M. Pollitt, "Benchmarking and regulation: international electricity experience," *Util. Policy*, vol. 9, no. 3, pp. 107–130, 2000.

[3] محسن پارسامقدم، مجید اجلی، نادعلی محمودی کهن، حمیدرضا مهاجری، «مطالعات تعیین الگوی مصرف بارهای تجاری»، مرکز ملی مطالعات و برنامه‌ریزی شبکه‌های قدرت، گزارش شماره ۱ (ویرایش اول) ، ۱۳۸۸.

[4] S. M. Bidoki, N. Mahmoudi-Kohan, and S. Gerami, "Comparison of several clustering methods in the case of electrical load curves classification," in *2011 16th Conference on Electrical Power Distribution Networks (EPDC)*, 2011, pp. 1 –7.

[5] S. M. Bidoki, N. Mahmoudi-Kohan, M. H. Sadreddini, M. Zolghadri Jahromi, and M. P. Moghaddam, "Evaluating different clustering techniques for electricity customer classification," in *Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2010 IEEE PES*, 2010, pp. 1 –5.

[6] D. S. Tasić and M. S. Stojanović, "Modified Fuzzy Clustering Method for Energy Loss Calculations in Low Voltage Distribution Networks."

[7] E. C. Bobric, G. Cartina, and G. Grigoras, "Clustering Techniques in Load Profile Analysis for Distribution Stations," *Adv. Electr. Comput. Eng.*, vol. 9, no. 1, pp. 63–66, 2009.

[8] Z. Zakaria, K. L. Lo, and M. H. Sohod, "Application of Fuzzy Clustering to Determine Electricity Consumers' Load Profiles," in *Power and Energy Conference, 2006. PECon '06. IEEE International*, 2006, pp. 99 –103.

[9] N. Anuar and Z. Zakaria, "Cluster validity analysis for electricity load profiling," in *2010 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon)*, 2010, pp. 35 –38.

[10] M. Simab and M.-R. Haghifam, "Assessing the efficiency of iranian electric distribution companies using nonparametric approach," in *Power Energy Society General Meeting, 2009. PES '09. IEEE*, 2009, pp. 1 –5.

[11] M. Simab and M.-R. Haghifam, "Using Integrated Model to Assess the Efficiency of Electric Distribution Companies," *Power Syst. Ieee Trans.*, vol. 25, no. 4, pp. 1806 –1814, Nov. 2010.

[12] M. A. Jamison, "Price Cap and Revenue Cap Regulation," *Outubro Mimeo*, 2005.

[13] T. Jamasb and M. Pollitt, "Benchmarking and regulation of electricity transmission and distribution utilities: Lessons from international experience," *Camb. Work. Pap. Econ.*, 2001.

[14] J. Parkkinen, "Evaluating Smart Grid Development for Incentive Regulation," 2011.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.2.6]

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol13 No.1 Spring 2016

[1] Regulation
[2] Fuzzy C Means
[3] Best frontier practice
[4] Representative average performance
[5] Data Envelopment Analysis
[6] Corrected Ordinary Least Square
[7] Stochastic Frontier Analysis
[8] Ordinary Least Square
[9] Decision Making Units
[10] Constant Returns to Scale
[11] Partition Coefficient
[12] Classification Entropy
[13] Partition Index
[14] Separation Index
[15] Dunn's Index
[16] Alternative Dunn Index

[15] G. A. Comnes, S. Stoft, N. Greene, and L. J. Hill, "Performance-based ratemaking for electric utilities: review of plans and analysis of economic and resource planning issues, Volume I," *Oak Ridge Ten Oak Ridge Natl. Lab. Univ. Calif. Berkeley*, 1995.

[16] R. Davis, "Acting on performance-based regulation," *Electr. J.*, vol. 13, no. 4, pp. 13–23, 2000.

[17] G. O. Parada, J. T. Saraiva, M. T. Ponce de Leao, D. E. Dismukes, S. A. Ostrover, A. Vargas, G. Strbac, H. Rudnick, and J. Donoso, "Integration of price cap and yardstick competition schemes in electrical distribution regulation [discussion and closure]," *Power Syst. Ieee Trans.*, vol. 16, no. 4, pp. 939 –945, Nov. 2001.

[18] T. Jamasb, P. Nillesen, and M. Pollitt, "Strategic behaviour under regulatory benchmarking," *Energy Econ.*, vol. 26, no. 5, pp. 825–843, Sep. 2004.

[19] A. K. Jain, M. N. Murty, and P. J. Flynn, "Data Clustering: A Review," *Acm Comput. Surv.*, pp. 264–323, 1999.

[20] R. Xu and D. Wunsch, "Survey of Clustering Algorithm," *Ieee Trans. Neural Networks*, 2005.

[21] B. Balasko, J. Abonyi, and B. Feil, "Fuzzy clustering and data analysis toolbox," *Dep. Process Eng. Univ. Veszprem Veszprem*, 2005.

[22] S.-S. Lee, S.-H. Ahn, J.-H. Park, J.-H. Heo, D.-H. Kim, J.-K. Park, M.-U. Yang, K.-J. Kim, and Y. T. Yoon, "South Korean power distribution system-based operation, market structure and regulation strategies under distributed generation and smart grid," in 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2012, pp. 1–7.

[23] "Electricity Distribution Annual Report for 2008-09 and 2009-10," Ofgem, Ref: 50/11, Mar. 2011.

[24] "RPI." [Online]. Available: http://www.ons.gov.uk/ons/rel/cpi/consumer-price-indices/october-2011/index.html.

[25]مجید روستایی، محمدکاظم شیخ الاسلامی، «تخصیص ارزش- محور هزینه های خدمات انتقال برق»، مهندسی برق و الکترونیک ایران، شماره۱، بهار و تابستان۱۳۹۴.

[26]هادی صادقی، محسن محمدیان، امیر عبداللهی، مسعود رشیدی‌نژاد،«برنامه ریزی توسعه منابع انرژی گسترده با بهره گیری از شبیه سازی مونت کارلو در فضای نظریه بازی‌ها با اطلاعات ناقص»، مهندسی برق و الکترونیک ایران، شماره۱، بهار و تابستان۱۳۹۴.

[27]میثم خجسته، شهرام جدید، «مدل پاسخ بار الکتریکی مبتنی بر برنامه‌ریزی تصادفی»، مهندسی برق و الکترونیک ایران، شماره۱، بهار و تابستان۱۳۹۴.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.1.2.6]