مدیریت صنعتی
Journal of Industrial Management
دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
دورهٔ ۸، شمارهٔ ۱
بهار ۱۳۹۵
صص. ۶۰- ۴۳

تحلیل مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری نفت به‌کمک تئوری مجموعه‌های خاکستری

سید مصطفی رضوی[۱]، محمدرضا مهرگان[۲]، حامد شکوری گنجوی[۳]، تورج کریمی[۴]

چکیده: تشخیص خوشه‌های مختلف مصرف انرژی، امکان طراحی مداخله‌گرهای اثربخش‌تر و برنامه‌های تشویقی مناسب هر خوشه را فراهم می‌کند و شرکت‌های تأمین‌کنندهٔ انرژی با درک خوشه‌های رفتاری متفاوت بین مشتریان، می‌توانند تعرفه‌ها و محصولات مناسب‌تری ارائه کنند. به همین‌دلیل در مقالهٔ حاضر تلاش شده است به‌کمک نظریهٔ مجموعه‌های خاکستری به خوشه‌بندی ساختمان‌ها پرداخته شود. خوشه‌بندی خاکستری در این تحقیق برای دو منظور استفاده شده است. ابتدا به‌کمک این رویکرد، عوامل لحاظ‌شده در گزارش‌های ممیزی انرژی ساختمان‌های تابع وزارت نفت در قالب دو گروه اصلی شاخص‌ها خوشه‌بندی شدند و تعداد متغیرهای مطالعه‌شده کاهش یافت؛ سپس خوشه‌بندی خاکستری با وزن‌های متغیر برای دسته‌بندی تمام ساختمان‌های بررسی‌شده، در قالب سه خوشهٔ مصرفی «تقریباً استاندارد»، «انحراف متوسط با استاندارد» و «کاملاً غیراستاندارد» به‌کار رفت. این تقسیم‌بندی می‌تواند مبنای بسیاری از تحقیقات رفتاری برای هر گروه باشد و امکان شناخت تفاوت‌های فرهنگ مصرف هر خوشه را جدا از تفاوت‌های تکنولوژیکی و ساختاری ساختمان‌ها فراهم کند؛ علاوه بر آن، از نظر کاربردی می‌تواند به سازمان‌ها در سیاست‌گذاری‌های مربوط به مصرف انرژی کمک کند و موجب برنامه‌ریزی‌های متفاوت برای هریک از خوشه‌ها شود.

واژه‌های کلیدی: تئوری مجموعه‌های خاکستری، خوشه‌بندی خاکستری، ممیزی انرژی ساختمان، وزارت نفت ایران.

۱. دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکدهٔ مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲. استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکدهٔ مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکدهٔ مهندسی صنایع، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۴. استادیار گروه مدیریت صنعتی، پردیس فارابی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۲/۱۸
تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۰۶
نویسندهٔ مسئول مقاله: تورج کریمی
E-mail: tkarimi@ut.ac.ir

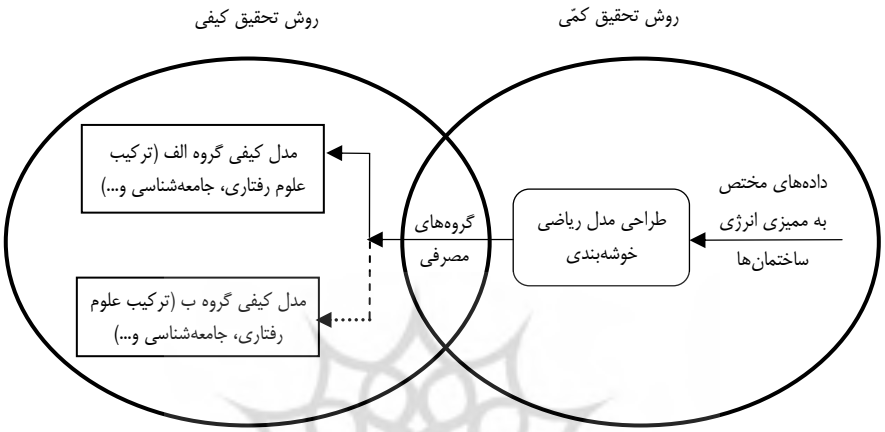
مقدمه

انرژی با مفهوم توسعهٔ پایدار ارتباط مستقیم دارد و جنبه‌های مختلف تمدن و پیشرفت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از آنجا که منابع انرژی، محرک فعالیت‌های اقتصادی بخش‌های صنعت، حمل‌ونقل و تجارت‌اند، استانداردهای زندگی هر کشور اغلب از فاکتورهای مرتبط با انرژی تبعیت می‌کنند. براساس گزارش کمیسیون جهانی توسعهٔ پایدار به مفهوم توسعه‌ای است که نیازهای فعلی را به‌گونه‌ای برآورده کند که نسل‌های آینده در رفع نیازهای خود دچار مشکل نشوند. به‌بیان دیگر، عملکرد فعلی جوامع نباید استانداردهای فرهنگی و زندگی جوامع و نسل‌های دیگر را به خطر بیندازد (فیلیپین، لارسن و مرکادو، ۲۰۱۱).

با وجودی که شدت مصرف انرژی ساختمان به‌ازای هر مترمربع در ایران ۲ تا ۳ برابر استانداردهای جهانی است، اغلب به شرایط آسایش حرارتی داخل ساختمان‌ها انتقاد می‌شود و در بیشتر ساختمان‌های کشور ضوابط فنی شناخته‌شده برای جلوگیری از هدررفتن انرژی به‌کار نمی‌رود (شرکت مهندسان مشاور بهینه‌ساز، ۱۳۸۸). به همین‌دلیل صرفه‌جویی در مصرف انرژی و به‌بیان بهتر، مصرف عاقلانهٔ انرژی، یکی از دغدغه‌های مهمی است که دولت با تکیه بر آن می‌تواند تا حدود زیادی از هزینه‌های اقتصادی خود بکاهد. برای توفیق در این امر، موضوع اصلاح الگوی مصرف باید ابتدا از طرف خود دولت رعایت شود و سازمان‌هایی در اولویت قرار گیرند که با انرژی ارتباط مستقیم دارند. در راستای تحقق این امر، شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت به اجرای پروژه‌های ممیزی انرژی برای ساختمان‌های تابع وزارت نفت اقدام کرده است. هدف از اجرای ممیزی انرژی در ساختمان، تشخیص ضعف‌ها و قوت‌های ساختمان از نظر مصرف انرژی و ارائهٔ فرصت‌های صرفه‌جویی مناسب برای کمک به مصرف بهینهٔ انرژی در ساختمان است که در این گزارش‌ها بنا و معماری ساختمان‌ها بررسی و تحلیل می‌شود.

شکی نیست که رفتارهای مرتبط با انرژی، پیچیدگی زیادی دارد و عوامل بسیاری بر آن تأثیر می‌گذارد که تشخیص این عوامل و دسته‌بندی گروه‌های مصرفی مختلف، می‌تواند در سیاست‌گذاری انرژی، کارایی مؤثری داشته باشد (استیفنسن و دیگران، ۲۰۱۰). در این تحقیق به مصرف انرژی در سازمان‌های اداری تابع وزارت نفت واقع در تهران پرداخته می‌شود تا گروه‌های مصرفی مختلف با استفاده از تئوری مجموعه‌های خاکستری و صرفاً با درنظرگرفتن ویژگی‌های فنی و ساختاری ساختمان، تبیین شوند. از آنجا که سازمان‌های واقع در یک خوشه، از نظر ویژگی‌های فنی و ساختمانی مشابه یکدیگرند، امکان بررسی تفاوت‌های رفتاری و فرهنگ مصرفی کارکنان هریک از سازمان‌های واقع در خوشه‌های مختلف با استفاده از روش‌های

تحقیق کیفی فراهم می‌شود که این فرایند در شکل ۱ نشان داده شده است. شایان ذکر است که در این مقاله تنها به قسمت نخست فرایند، یعنی روش تحقیق کمّی پرداخته شده است.



شکل ۱. فرایند تحقیق

روش شناسی پژوهش

تحقیق حاضر از نظر هدف، توسعه‌ای- کاربردی است. مشخصات تحقیق توسعه‌ای، کسب معرفت‌های کلی دربارهٔ موضوع، ثبت و ضبط جامع و استفادهٔ ترکیبی از روش‌هاست که این پژوهش، مشخصات یادشده را دارد. از سوی دیگر، پژوهش حاضر از نوع کاربردی است؛ زیرا الگوی پیشنهادی به‌صورت اجرایی و عملی در حوزهٔ مصارف انرژی سازمان‌ها به‌کار می‌رود.از آنجا که هدف این پژوهش توصیف شرایط و پدیده‌های بررسی‌شده به‌منظور شناخت بیشتر وضعیت موجود و یاری‌رساندن به فرایند تصمیم‌گیری است، این تحقیق را در بخش کمّی، براساس چگونگی به‌دست‌آوردن داده‌های مد نظر یا ماهیت تحقیق، می‌توان در زمرهٔ تحقیق توصیفی پیمایشی شمرد. قلمرو مکانی آن، سازمان‌های تابع وزارت نفت واقع در شهر تهران است که برای آنها ممیزی انرژی انجام‌شده و گزارش‌های این ممیزی در اختیار محقق قرار گرفته است. از نظر قلمرو زمانی، ساختمان‌هایی مد نظر قرار گرفته‌اند که ممیزی انرژی آنها از سال ۱۳۸۵ توسط شرکت‌های مشاور آغاز شده است و چارچوب کمابیش یکسانی دارند. از نظر موضوعی نیز، به حوزهٔ مصرف انرژی در سطح سازمان‌ها می‌پردازد. در واقع، در تحقیق حاضر از

بین مصرف بخش خانگی و تجاری، تنها بخش تجاری در نظر گرفته شده است و در این بخش تنها سازمان‌های تابع وزارت نفت که کاربری اداری داشتند، انتخاب شدند و ممیزی انرژی برای آنها انجام پذیرفته است.

هدف اصلی در مقالهٔ حاضر، ارائهٔ مدل ریاضی مناسب برای گروه‌بندی سازمان‌های تابع وزارت نفت واقع در تهران از نظر مصرف انرژی است، بنابراین در بخش بعدی تئوری مجموعه‌های خاکستری و مفاهیم اساسی مرتبط با آن تشریح می‌شود و پیشینهٔ تحقیق در خصوص خوشه‌بندی مصرف و به‌کارگیری تئوری مجموعه‌های خاکستری در زمینهٔ انرژی، مرور خواهد شد. در بخش بعدی روش خوشه‌بندی روابط خاکستری تشریح‌شده و چگونگی به‌کارگیری آن برای دسته‌بندی شاخص‌های ممیزی انرژی توضیح داده شده است. در ادامه، ضمن تشریح روش خوشه‌بندی خاکستری با وزن‌های متغیر ساختمان‌های تابع وزارت نفت دسته‌بندی و نتیجه‌گیری ارائه شده است.

تئوری مجموعه‌های خاکستری

تئوری مجموعه‌های خاکستری[1] روش جدیدی برای مطالعهٔ مسائلی است که دارای عدم اطمینان، داده‌های اندک و اطلاعات محدودند. این تئوری جدید، نمونه‌های کوچک و سیستم‌هایی را مطالعه می‌کند که اطلاعات کمی دارند؛ سیستم‌هایی که قسمتی از اطلاعات آنها مشخص و قسمتی نامشخص است (لیو، فارست و والی، ۲۰۰۹). نخستین تحقیقات مربوط به سیستم‌های خاکستری را پرفسور دنگ[2] در سال ۱۹۸۲ نگاشت و برخلاف بسیاری از تئوری‌های بین‌رشته‌ای دیگر، به زمینهٔ تحقیقاتی قدرتمندی در کاربردهای عملی تبدیل شد که در بخش بعدی به برخی از این کاربردها در حوزهٔ انرژی اشاره می‌شود.

هنگام استفاده از روش‌های آماری برای تحلیل سیستم‌ها، باید داده‌های زیادی در دست باشد تا بتوان نتایج آماری معنادار و قابل اعتمادی استخراج کرد. همچنین باید تمام نمونه‌ها یا جامعه، توزیع احتمال مشخصی داشته باشند و رابطهٔ بین شاخص‌های اساسی تقریباً خطی باشد که در دنیای واقعی برآورده‌کردن این دو شرط بسیار مشکل است. این روش‌ها به محاسبات سنگین و پیچیده‌ای نیاز دارند و معمولاً نتایج کمّی با نتایج کیفی هم‌راستا نیست و به درک نادرستی از سیستم بررسی‌شده منجر می‌شود. GST می‌تواند نقص‌های موجود در روش‌های آماری تحلیل سیستم‌ها را جبران کند و برای هر اندازه نمونه، بدون توجه به توزیع آماری آن و با محاسبات

1. Grey System Theory (GST)
2. Deng

اندک به‌کار رود. این نظریه امکان استفاده از تعداد داده‌های کم برای تحلیل عوامل زیاد را فراهم می‌کند و نسبت به روش‌های سنتی آماری نظیر رگرسیون که به داده‌های بسیار و توزیع نرمال نیاز دارند، برای موضوع مطالعهٔ حاضر مناسب‌تر است (لیو و لین، ۲۰۱۰).

فرض کنید X_i فاکتور سیستم با k مشاهده، ارزش‌های $x_i(k)$, $k = ۱,۲,...,n.$ دارد، بدین ترتیب $X_i = (x_i(۱), x_i(۲),..., x_i(k), x_i(k+۱),..., x_i(n))$ را توالی رفتاری فاکتور X[1] می‌گویند و $x_i(k)$, $x_i(k+۱)$ را دو همسایهٔ متوالی X می‌نامند. اگر k معرف زمان باشد، $x_i(k)$ گویای یک مشاهده از فاکتور X_i در زمان k است و $X_i = (x_i(۱), x_i(۲),..., x_i(n))$ یک توالی زمانی رفتاری از فاکتور X_i نامیده می‌شود. اگر k یکسری شاخص[2] در نظر گرفته شود و $x_i(k)$ مشاهدات فاکتور X_i باشد، به $X_i = (x_i(۱), x_i(۲),..., x_i(n))$ توالی شاخص رفتاری فاکتور X_i گفته می‌شود و چنانچه k نمونه‌های مشاهده‌شده و $x_i(k)$ نشان‌دهندهٔ مشاهدات از فاکتور X_i باشد، $X_i = (x_i(۱), x_i(۲),..., x_i(n))$ توالی افقی رفتاری فاکتور X_i نامیده می‌شود که توالی‌های این تحقیق از نوع توالی افقی رفتاری است (جیان، لیو و لین، ۲۰۱۱).

برای حذف امواج و جهش‌های ناگهانی مجموعهٔ داده‌ها، از عملگرهای توالی[3] استفاده می‌شود که تقویت توالی را در جهت بهبود دقت پیش‌بینی‌ها در پی دارد. فرض کنید $X_i = (x_i(۱), x_i(۲),..., x_i(n))$ یک توالی رفتاری از فاکتور X_i و D یک عملگر توالی به شکل $XD = (x_i(۱)d, x_i(۲)d,..., x_i(n)d)$ باشد که $x_i(k)d = \frac{x_i(k)}{\overline{X}_i}$, $\overline{X}_i(k) = \frac{۱}{n}\sum_{i=۱}^{n} x_i(k)$ و $k = ۱, ۲, ..., n$، در این صورت D را عملگر میانگین می‌نامیم. عملگرهای توالی متنوعی وجود دارد که برای اطلاع بیشتر دربارهٔ آنها می‌توان به منابع لیو و همکارانش رجوع کرد.

یکی از مباحث پرکاربرد GST، خوشه‌بندی خاکستری[4] است که برای کلاسه‌بندی مشاهدات به‌کار می‌رود. هر خوشهٔ خاکستری را می‌توان، مجموعه‌ای از تمام مشاهدات دانست که در یک کلاس قرار دارند. در کاربردهای عملی بسیار اتفاق می‌افتد که هر مشاهده ویژگی‌های بسیاری دارد و این مسئله کلاسه‌بندی دقیق مشاهدات را مشکل می‌کند. با توجه به مشاهداتی که قصد خوشه‌بندی آنها را داریم، GC را می‌توان به دو دستهٔ خوشهٔ روابط خاکستری[5] و خوشهٔ توابع وزنی سفیدشده[6] تقسیم کرد. دستهٔ نخست بیشتر برای کلاسه‌بندی فاکتورهای هم‌نوع و ساده‌سازی سیستم پیچیده به‌کار می‌رود. به‌کمک این روش می‌توان تشخیص داد که باید

---

1. Behavioral sequence of the factor
2. Criteria
3. Operators of Sequences
4. Grey cluster (GC)
5. Cluster of grey incidences
6. Cluster of whitenization weight functions

فاکتورهایی را که ارتباط بیشتری با یکدیگر دارند، ترکیب کنیم یا یکی از آنها را نمایندهٔ گروه در نظر بگیریم، ضمن آنکه هیچ اطلاعاتی از بین نرود. با استفاده از این نوع خوشه‌بندی، می‌توان پیش از آغاز تحقیق، با کاستن از تعداد متغیرهای مطالعه، هزینهٔ اجرای پژوهش را کاهش داد که در بخش‌های بعدی به آن پرداخته می‌شود. خوشه‌بندی دوم اساساً برای بررسی اینکه یک مشاهده به یک کلاس از پیش تعیین‌شده تعلق دارد یا خیر به‌کار گرفته شده و در عمل استفاده از این نوع خوشه‌بندی پیچیده‌تر از نوع اول است (لیو و لین، ۲۰۱۰).

پیشینهٔ تحقیق

با توجه به تنوع منابع انرژی و بخش‌های مختلف مصرفی، باید رفتار خوشه‌های مختلف مصرف در بازار انرژی تحقیق و بررسی شود. به همین‌دلیل در زمینهٔ گروه‌بندی مصرف‌کنندگان و متعاقب آن، بررسی رفتار مصرف انرژی هر گروه، تحقیقات گسترده‌ای شده که در ادامه برخی از آنها به‌اختصار توضیح داده شده است.

انسیناس و آلفانسو (۲۰۰۷) در مقاله‌ای روش‌شناسی بخش‌بندی[1] مشتریان را به‌گونه‌ای ارائه کرده‌اند که تشخیص انواع مشتریان امکان‌پذیر باشد. این بخش‌بندی از نظر مفهومی با بخش‌بندی‌های موجود تفاوت دارد و مبتنی بر فرضیه‌های تجاری است. در این مقاله نوعی روش‌شناسی برای تفکیک دسته‌های گوناگون مشتریان براساس مصرف انرژی ارائه شده است؛ به‌طوری که مشتریان بر اساس رفتار مصرفی مشابه در هر دسته قرار گرفتند. در تحقیق فیلیپین و همکارانش (۲۰۱۱) رفتار مصرف انرژی زمستان خانوارهای ساکن در بلوک‌های ساختمانی یکی از مناطق سردسیر آرژانتین بررسی شده است. چهار آپارتمان طی شش ماه واکاوی شد. هدف از این تحقیق، مطالعهٔ روند تغییرات دمای درونی هر آپارتمان به‌منظور تحلیل مصرف انرژی و تحلیل شرایط آسایش در هریک از آنها بوده است. در مقالهٔ بار، گیلگ و فورد (۲۰۰۵) رفتارهای مصرف انرژی در خانه به «رفتارهای مبتنی بر خرید» و «رفتارهای عادتی» تقسیم‌شده و «رفتارهای مبتنی بر خرید»، تغییرات بلندمدت ساختار خانه که به تأمین مالی و منابع تکنیکی برای به‌کارگیری نیاز دارند، در نظر گرفته شده است. آنها برای نشان‌دادن رابطهٔ بین رفتارهای صرفه‌جویی انرژی و سایر فعالیت‌های محیطی و گروه‌بندی این رفتارها، روش تحلیل عاملی را به‌کار بردند و پس از استخراج سه دسته عامل اثرگذار، به‌کمک تحلیل خوشه‌ای، ویژگی‌های رفتاری افراد را در چهار گروه دسته‌بندی کردند. در مقالهٔ راج و ورهالن (۱۹۸۳) بیان شده است

1. Segmentation methodology

که مصرف انرژی هر خانوار، از رفتارهای مرتبط با انرژی[1] تأثیر می‌پذیرد و این رفتارها را می‌توان به سه دستهٔ رفتارهای خرید[2]، مصرف[3] و نگهداری[4] تقسیم کرد. هدف اصلی از مدل ارائه‌شده در این مقاله، جمع‌آوری و ساخت عوامل مؤثر بر مصرف انرژی خانگی است. این امر کمک می‌کند محققان و سیاست‌گذاران بتوانند با مرور عوامل مربوط به مصرف انرژی، ابزاری برای ارزشیابی اثر سیاست‌های گوناگون استخراج کنند. میکالیک و میلزارسکی (۱۹۹۵) مدلی ساختاریافته[5] برای مصرف انرژی در بخش خانگی ارائه کردند. محققان برای این کار، مصرف‌کنندگان را به چهار گروه اصلی و هر گروه را به شش زیرگروه تقسیم کردند. با بررسی بیش از ۱۰۰ مصرف‌کننده، داده‌های مربوط به ۱۷ وسیلهٔ «انرژی‌بَر» که به سه گروه اصلی تفکیک شده بودند را به‌دست آوردند. در نهایت، الگوی رفتاری مصرف هر گروه مشخص شد و پس از تجزیه و تحلیل آنها، به بررسی نتیجهٔ سیاست‌های احتمالی آیندهٔ هر گروه پرداختند. در مقالهٔ یو و همکارانش (۲۰۱۱) عوامل اثرگذار بر مصرف انرژی ساختمانی به هفت گروه دسته‌بندی شده است که عبارت‌اند از: آب و هوا (درجهٔ دمای خارج ساختمان، شدت تابش خورشید، سرعت باد و...)؛ ویژگی‌های مرتبط به ساختمان (نوع، مساحت، موقعیت و...)؛ ویژگی‌های مرتبط با مصرف‌کنندگان غیر از عوامل اجتماعی و اقتصادی (مانند تعداد حضور افراد در خانه)؛ سیستم‌های سرویس‌دهی ساختمان (سیستم خنک‌کننده، گرمازا، آب گرم و...)؛ رفتارها و فعالیت‌های ساکنان ساختمان، عوامل اجتماعی و اقتصادی (میزان آموزش، هزینهٔ انرژی و...) و کیفیت وضعیت محیطی داخلی مورد نیاز. برای نشان‌دادن تأثیر رفتار ساکنان بر مصرف انرژی ساختمان، روش‌شناسی جدیدی مبتنی بر تکنیک‌های داده‌کاوی ارائه شده است. ابتدا کلیهٔ ساختمان‌های بررسی‌شده از طریق تحلیل خوشه‌ای، براساس چهار فاکتور ابتدایی (بی‌ارتباط با رفتار) در قالب گروه‌های مختلف دسته‌بندی شدند؛ به‌طوری که اثر چهار عامل یادشده روی مصرف انرژی ساختمان‌های واقع در گروه‌های مشابه، یکسان بود. قبل از تحلیل خوشه‌ای، میزان تأثیرگذاری هر شاخص در مصرف انرژی ساختمان از طریق تحلیل روابط خاکستری[6] بررسی شده است.

با مرور تحقیقات موجود، می‌توان مشاهده کرد که در زمینهٔ مصرف انرژی، از ابزارهای تئوری مجموعهٔ خاکستری بیشتر به‌منظور پیش‌بینی روند مصرف در آینده استفاده شده است. برای نمونه در مقالهٔ وانگ، اکسیا و وانگ (۲۰۰۹)، ابتدا نوعی روش ترکیبی از مدل‌های پیش‌بینی

1. Energy-related behaviors
2. Purchase
3. Usage
4. Maintenance
5. Structural
6. Grey relational analysis (GRA)

خاکستری و تکنیک‌های آماری چندمتغیره ارائه شده است تا روند مصرف انرژی الکتریکی در یکی از شهرهای چین پیش‌بینی شود؛ سپس تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی[1] و تحلیل تمایز[2] برای گروه‌بندی داده‌ها به سه گروه کم‌مصرف، مصرف متوسط و پرمصرف به‌کار گرفته شده است. در مقالهٔ وانگ (۲۰۰۹) برای پیش‌بینی مصرف انرژی در یکی از شهرهای چین، از مدل‌های پیش‌بینی خاکستری و رگرسیون چندگانه و تلفیق این دو با نام IGMMRM استفاده‌شده و در انتها نتایج با هم مقایسه شده‌اند. در مقالهٔ جیانگ، ژونگ، کای و ژو (۲۰۰۷) مدل پیش‌بینی ترکیبی GM و PLS[3] برای مصرف انرژی ارائه شده است. زای و همکاران، مدل GM را با الگوریتم ژنتیک تلفیق کردند و بر این اساس به پیش‌بینی گاز طبیعی پرداختند (اکسیا و لی، ۲۰۰۹). در مقالهٔ لیو و همکارانش (۲۰۰۹) به‌دلیل پیچیدگی و غیرخطی‌بودن سیستم مصرف انرژی، مدل پیش‌بینی خاکستری با مدل شبکه‌های عصبی تلفیق شده است تا امکان پیش‌بینی مصرف با داده‌های گذشته فراهم شود. در مقالهٔ لی، یاماگوچی و لین (۲۰۰۶) از مدل خاکستری برای درک، تحلیل و پیش‌بینی ساختار تولید ناخالص داخلی[4]، جمعیت و مصرف انرژی از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ استفاده شده است.

در این مقاله قصد داریم از ابزار خوشه‌بندی خاکستری برای گروه‌بندی شاخص‌های مصرفی و بخش‌های مصرفی (ساختمان‌های اداری) استفاده کنیم و زمینه را برای بررسی رفتار مصرفی هر یک از گروه‌ها فراهم آوریم.

خوشه‌بندی شاخص‌ها

فرض کنید $X_i = (x_i(1), x_i(2), ..., x_i(n))$ بر داده‌های یک توالی رفتاری دلالت دارد و تفاضل $X_i - x_i(1)$ به شکل رابطهٔ ۱ است:

$$(x_i(1) - x_i(1), x_i(2) - x_i(1), ..., x_i(n) - x_i(1)) \quad \text{رابطهٔ ۱)}$$

در این صورت رابطهٔ ۲ را تصویر اولیهٔ توالی می‌نامیم و داریم:

$$s_i = \int_1^n (X_i - x_i(1))dt \quad \text{رابطهٔ ۲)}$$

فرض کنید تصاویر اولیهٔ دو توالی رفتاری مطابق رابطه‌های ۳ و ۴ به‌شکل زیر است:

---

1. Hierarchical cluster analysis
2. Discriminante analysis
3. Partial least squares regression
4. Gross Domestic Product (GDP)

رابطهٔ ۳) $$X_i = (x_i(1), x_i(2),..., x_i(n)) \rightarrow X_i^0 = \left(x_i^0(1), x_i^0(2),..., x_i^0(n)\right)$$

رابطهٔ ۴) $$X_j = \left(x_j(1), x_j(2),..., x_j(n)\right) \rightarrow X_j^0 = \left(x_j^0(1), x_j^0(2),..., x_j^0(n)\right)$$

در این صورت داریم:

رابطهٔ ۵) $$s_i - s_j = \int_1^n (X_i^0 - X_j^0)dt$$

فرض کنید که دو توالی X_j و X_i طول مشخص دارند و s_j و s_i مانند بالا به‌دست آمده است. در این صورت داریم:

رابطهٔ ۶) $$\varepsilon_{ij} = \frac{1+|s_i|+|s_j|}{1+|s_i|+|s_j|+|s_i - s_j|}$$

که ε_{ij} را درجهٔ مطلق روابط خاکستری[1] مربوط به مشخصهٔ X_i و X_j می‌نامند.

فرض کنید که X_i و X_j دو توالی، طول برابر دارند و تصاویر آنها به شکل زیر است:

رابطهٔ ۷) $$X_i^0 = \left(x_i^0(1), x_i^0(2),..., x_i^0(n)\right)$$

رابطهٔ ۸) $$X_j^0 = \left(x_j^0(1), x_j^0(2),..., x_j^0(n)\right)$$

در این صورت داریم:

رابطهٔ ۹) $$|s_i| = \left|\sum_{k=2}^{n-1} x_i^0(k) + \frac{1}{2}x_i^0(n)\right|$$

رابطهٔ ۱۰) $$|s_j| = \left|\sum_{k=2}^{n-1} x_j^0(k) + \frac{1}{2}x_j^0(n)\right|$$

رابطهٔ ۱۱) $$|s_i - s_j| = \left|\sum_{k=2}^{n-1}\left[x_i^0(k) - x_j^0(k)\right] + \frac{1}{2}\left[x_i^0(n) - x_j^0(n)\right]\right|$$

1. Absolute Degree of Grey Incidence

همیشه روابط $0 < \varepsilon_{ij} \leq 1$ ، $\varepsilon_{ii} = \varepsilon_{jj} = 1$ و $\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ji}$ برقرار است.

فرض کنید که n مشاهده و داده‌های m ویژگی برای هر مشاهده گردآوری شده است. بنابراین، توالی‌های زیر را داریم:

$$X_i = (x_i(1), x_i(2), ..., x_i(n)) \quad , \quad i = 1,2,...,m$$ رابطهٔ ۱۲)

برای تمام $i, j = 1,2,...,m$, $i \leq j$ مقدار ε_{ij} را حساب می‌کنیم و ماتریس بالامثلثی زیر را می‌سازیم:

$$A = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & . & . & . & \varepsilon_{1m} \\ & \varepsilon_{22} & . & . & . & \varepsilon_{2m} \\ & & . & & & . \\ & & & . & & . \\ & & & & . & . \\ & & & & & \varepsilon_{mm} \end{bmatrix}, \ \varepsilon_{ii} = 1, \ i = 1,2,....,m$$

ماتریس A را ماتریس ویژگی‌های متغیرها[1] می‌نامند. با انتخاب مقدار بحرانی $r \in [0,1]$ و با در نظر گرفتن $r > 0/5$ زمانی که $\varepsilon_{ij} \geq r$, $i \neq j$ باشد متغیرهای X_i و X_j ویژگی‌های مشابهی دارند. خوشه‌بندی ویژگی‌ها براساس مقدار بحرانی r را خوشه‌بندی r می‌نامند که مقدار r می‌تواند براساس نیازهای عملیاتی مطالعه انتخاب شود. هر چه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، خوشه‌بندی تنگ‌تر و تعداد اعضای هر خوشه کاهش می‌یابد. به‌بیان دیگر، کاهش مقدار r موجب افزایش تعداد اعضای هر خوشه و خوشه‌بندی‌های بزرگ‌تر می‌شود (لیو و لین، ۲۰۰۶).

در این تحقیق به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها، پس از بررسی در منابع کتابخانه‌ای و با مراجعه به مراکز پژوهشی وزارت نفت، نظیر مؤسسهٔ مطالعات انرژی و سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت، به گزارش‌های ممیزی انرژی تعدادی از ساختمان‌ها که در حیطهٔ موضوعی تحقیق حاضر قرار داشتند دسترسی پیدا کرده و پس از مطالعهٔ دقیق این گزارش‌ها، اطلاعات لازم استخراج شده است. شاخص‌های مشترک بین ۳۸ ساختمان ممیزی‌شده (X_j) در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. توضیحات در خصوص روش محاسبهٔ هر یک از شاخص‌ها در گزارش شرکت مهندسان مشاور بهینه‌ساز و کدگذاری EE آمده است.

---

1. The incidence matrix of the characteristic variables

جدول ۱. شاخص‌های بررسی‌شده در گزارش‌های ممیزی انرژی ساختمان

متغیر	شرح	واحد اندازه‌گیری
X_1	تعداد طبقات با احتساب زیرزمین	تعداد
X_2	متراژ ساختمان	مترمربع (m^2)
X_3	عمر تقریبی ساختمان	سال
X_4	متراژ فضای کنترل‌نشدهٔ ساختمان	مترمربع (m^2)
X_5	ضخامت سقف	سانتی‌متر (cm)
X_6	تعداد ساکنان	نفر
X_7	راندمان بویلر	درصد (٪)
X_8	درصد لامپ‌های کم‌مصرف	درصد (٪)
X_9	ضریب بار دیوارها	وات بر کلوین (w/k)
X_{10}	ضریب بار پنجره‌ها	وات بر کلوین (w/k)
X_{11}	ضریب بار درب‌ها	وات بر کلوین (w/k)
X_{12}	ضریب بار سقف	وات بر کلوین (w/k)
X_{13}	ضریب بار کف	وات بر کلوین (w/k)

هر یک از ۱۳ شاخص بالا یک توالی با طول ۳۸ هستند. به‌بیان دیگر داریم:

$$X_i(k) \quad , \quad i=1,2,...,13 \quad , k=1,2,...,38$$ رابطهٔ ۱۳)

که پس از جمع‌آوری داده‌های هریک از متغیرهای بالا و محاسبهٔ ε_{ij}، ماتریس زیر به‌دست می‌آید.

به‌منظور استخراج ماتریس زیر، از نسخهٔ ۶ نرم‌افزار مدل‌سازی سیستم‌های خاکستری[1] استفاده شده است. این نرم‌افزار توسط زنگ بو[2] طراحی شده است که علاوه‌بر مزیت‌های قابلیت اعتماد زیاد، استفادهٔ آسان، کاربردی‌بودن، دقت زیاد و نمای مناسب، می‌توان اطلاعات را به‌راحتی و با سرعت زیاد از طریق فایل اکسل وارد این نرم‌افزار کرد (لیو و لین، ۲۰۱۰).

1. Grey System Modeling Software 6.0
2. Zeng Bo

$$A=\begin{bmatrix}
1 & .50 & .51 & .50 & .50 & .50 & .76 & .57 & .50 & .50 & .50 & .50 & .50\\
 & 1 & .50 & .60 & .50 & .54 & .50 & .50 & .68 & .65 & .54 & .55 & .62\\
 & & 1 & .50 & .84 & .50 & .50 & .51 & .50 & .50 & .50 & .50 & .50\\
 & & & 1 & .50 & .67 & .50 & .50 & .79 & .84 & .67 & .76 & .92\\
 & & & & 1 & .50 & .50 & .50 & .50 & .50 & .50 & .50 & .50\\
 & & & & & 1 & .50 & .50 & .60 & .62 & .99 & .82 & .64\\
 & & & & & & 1 & .64 & .50 & .50 & .50 & .50 & .50\\
 & & & & & & & 1 & .50 & .50 & .50 & .50 & .50\\
 & & & & & & & & 1 & .93 & .60 & .65 & .85\\
 & & & & & & & & & 1 & .62 & .68 & .91\\
 & & & & & & & & & & 1 & .82 & .64\\
 & & & & & & & & & & & 1 & .72\\
 & & & & & & & & & & & & 1
\end{bmatrix}$$

با توجه به ادبیات موضوع معمولاً مقدار r به‌شکل $r \succ ۰/۵$ در نظر گرفته می‌شود که با توجه به مقادیر بیشتر از ۰/۵ در هریک از سطرهای ماتریس A، می‌توان شاخص‌ها را به‌شکل زیر خوشه‌بندی کرد.

گروه یک $= \{X_۲, X_۴, X_۶, X_۹, X_{۱۰}, X_{۱۱}, X_{۱۲}, X_{۱۳}\}$

گروه دو $= \{X_۱, X_۳, X_۵, X_۷, X_۸\}$

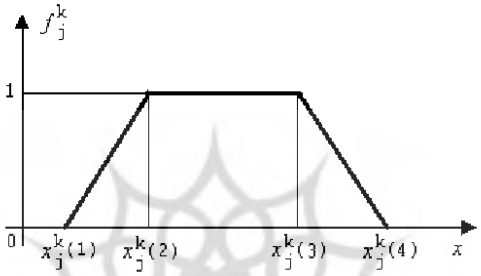
با توجه به دسته‌بندی صورت‌گرفته برای شاخص‌ها، به‌منظور خوشه‌بندی ساختمان‌ها از نظر مشخصات فنی و ظاهری و با در نظر گرفتن وضعیت مصرف، گروه نخست از شاخص‌ها را با نسبت مصرف انرژی و گروه دوم از شاخص‌ها را با ضریب بار حرارتی ساختمان نشان می‌دهیم و با توجه به میزان انحراف این دو شاخص از مقادیر استاندارد، به خوشه‌بندی ساختمان‌ها می‌پردازیم.

خوشه‌بندی با وزن‌های متغیر[1]

فرض کنید تعداد n مشاهده وجود دارد که باید براساس m شاخص در s کلاس خاکستری متفاوت خوشه‌بندی شوند. تمام s کلاس خاکستری که براساس مقدار شاخص j برای n مشاهده شکل می‌گیرد را زیرکلاس شاخص j می‌نامند. تابع وزنی سفیدشده زیرکلاس kام از شاخص j را با $f_j^k(.)$ و به‌شکل ۲ نشان می‌دهند و به نقاط (۱) x_j^k، (۲) x_j^k، (۳) x_j^k و (۴) x_j^k، نقاط گردش[2] تابع $f_j^k(.)$ می‌گویند.

1. Grey Clustering with Variable Weights
2. Turning points

$$f_j^k(x)=\begin{cases}0, & x\notin\left[x_j^k(1),x_j^k(4)\right]\\ \dfrac{x-x_j^k(1)}{x_j^k(2)-x_j^k(1)}, & x\in\left[x_j^k(1),x_j^k(2)\right]\\ 1, & x\in\left[x_j^k(2),x_j^k(3)\right]\\ \dfrac{x_j^k(4)-x}{x_j^k(4)-x_j^k(3)}, & x\in\left[x_j^k(3),x_j^k(4)\right]\end{cases}$$ رابطهٔ ۱۴)



شکل ۲. تابع $f_j^k(.)$

برای تابع وزنی سفیدشدهٔ بالا، شاخص زیر به‌عنوان مقدار بحرانی[1] زیرکلاس kام از شاخص j تعریف می‌شود.

$$\lambda_j^k=\frac{1}{2}\left[x_j^k(2)+x_j^k(3)\right]$$ رابطهٔ ۱۵)

براساس تعاریف بالا، مقدار η_j^k براساس رابطهٔ ۱۷ محاسبه می‌شود که به آن وزن شاخص j در زیرکلاس kام می‌گویند.

$$\eta_j^k=\frac{\lambda_j^k}{\sum_{j=1}^{m}\lambda_j^k}$$ رابطهٔ ۱۶)

فرض کنید x_{ij} مقدار مشاهدهٔ iام از شاخص j و $f_j^k(.)$ تابع وزنی سفیدشده از زیرکلاس kام از شاخص j و η_j^k وزن شاخص jام در زیرکلاس kام باشد. بر این اساس مقدار

1. Critical value

$\sigma_i^k = \sum_{j=1}^{m} f_j^k(x_{ij}) \times \eta_j^k$ را ضریب خوشهٔ مشاهدهٔ iام برای تعلق‌یافتن به کلاس خاکستری kام می‌نامند. به ماتریس $\sum = [\sigma_i^k]_{n\times s}$ ماتریس ضرایب خوشه گفته می‌شود و بردار $\sigma_i = (\sigma_i^1, \sigma_i^2, \dots, \sigma_i^s) = [\sum_{j=1}^{m} f_j^k(x_{ij}) \times \eta_j^k, \dots, \sum_{j=1}^{m} f_j^s(x_{ij}) \times \eta_j^s]$ نیز بردار ضرایب خوشهٔ مشاهدهٔ iام نامیده می‌شود.

اگر $\sigma_i^{k^*} \max_{1\le k\le s} \{\sigma_i^k\}$ باشد، می‌گوییم مشاهدهٔ iام به کلاس خاکستری k^* تعلق دارد. زمانی که مفهوم و ابعاد شاخص‌ها متفاوت باشد و مقدار شاخص‌ها برای مشاهدات تفاوت زیادی با یکدیگر دارند، نباید از این روش خوشه‌بندی استفاده کرد، در این حالت روش خوشه‌بندی با وزن‌های ثابت[1] پیشنهاد می‌شود (لیو و لین، ۲۰۱۰).

در حالت کلی، تابع وزنی سفیدشدهٔ هر زیرکلاس مربوط به هریک از j شاخص، براساس تجربه به‌دست می‌آید و این تابع ممکن است برای هر منطقه، هر نوع کاربری، هر استان و... متفاوت باشد. بنابراین، نتایج ارزیابی خوشه‌های خاکستری می‌تواند صرفاً در دامنهٔ مشخصی اعتبار داشته باشد که مختص به توابع وزنی تعیین شده است.

هدف از تحقیق حاضر، خوشه‌بندی ۳۸ ساختمان تابع وزارت نفت واقع در تهران است که ممیزی انرژی روی آنها صورت گرفته و همهٔ آنها کاربری اداری دارند. پارامترهای در نظر گرفته‌شده برای خوشه‌بندی خاکستری این ساختمان‌ها براساس نتایج به‌دست‌آمده از قسمت قبل سه شاخص به شرح زیر است:

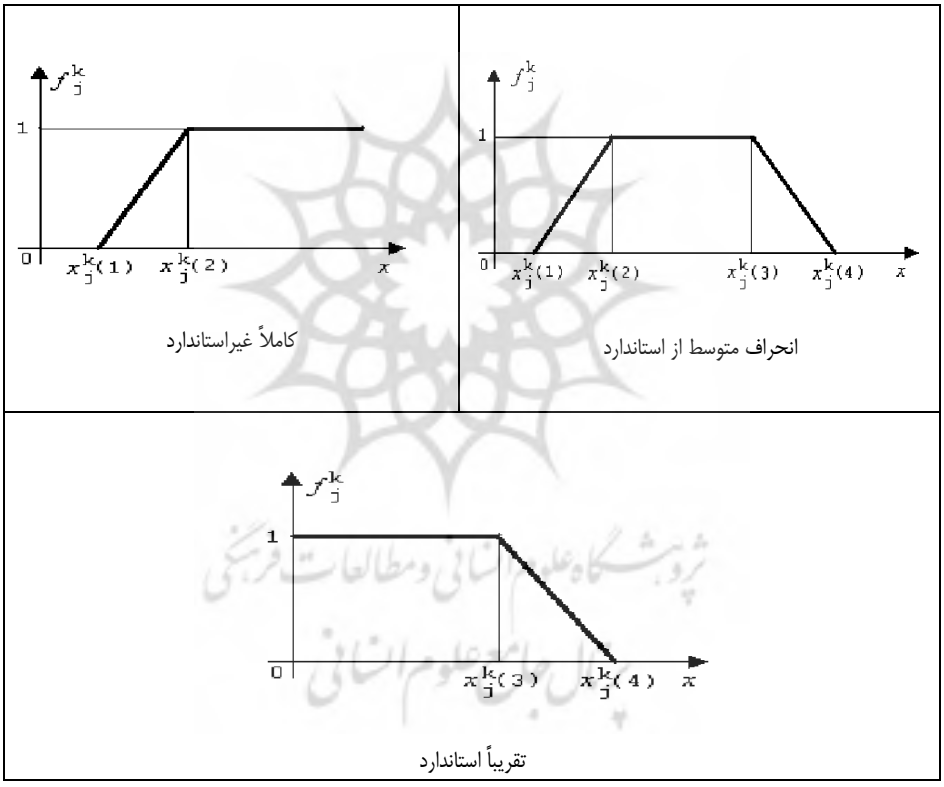
۱. درصد انحراف ضریب بار ساختمان از ضریب بار محاسبه‌شده براساس استاندارد مبحث ۱۹؛
۲. درصد انحراف ضریب بار ساختمان از ضریب بار محاسبه‌شده براساس استاندارد IEE[2]؛
۳. درصد انحراف نسبت انرژی ساختمان از نسبت انرژی محاسبه‌شده براساس استاندارد مبحث ۱۹؛

با نظرسنجی از خبرگان و کارشناسان شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت و مؤسسهٔ مطالعات انرژی در زمینهٔ ممیزی انرژی ساختمان، ابتدا توابع وزنی سفیدشدهٔ هریک از سه شاخص یادشده برای هریک از خوشه‌ها تعیین شد که جدول ۲ نقاط گردش تابع $f_j^k(.)$ برای هر خوشه را نشان می‌دهد.

1. Clusters with Fixed Weights
2. International Energy Conservation

جدول ۲. نقاط گردش تابع $f_j^k(.)$ مختص به هریک از خوشه‌ها

شاخص / خوشه	اختلاف BLC با مبحث ۱۹	اختلاف BLC با IEE	اختلاف نسبت انرژی با مبحث ۱۹
تقریباً استاندارد	۱/۰۵، ۰/۹۸، ـ ، ـ ،	۱/۴، ۱/۱، ـ ، ـ	۱/۱، ۰/۹۹، ـ ، ـ
انحراف متوسط از استاندارد	۱/۵، ۱/۳، ۱/۱، ۱/۰۲	۲/۵، ۲، ۱/۵، ۱/۳	۱/۷، ۱/۵، ۱/۲، ۱/۱۵
کاملاً غیراستاندارد	ـ ، ـ ، ۱/۵۵، ۱/۴۵	ـ ـ ، ۳/۵، ۲/۷	ـ ، ـ ، ۲، ۱/۷



شکل ۳. توابع وزنی هریک از خوشه‌ها

پس از انجام محاسبات خوشه‌بندی خاکستری با وزن‌های متغیر، نتایج جدول ۳ به‌دست آمده است.

جدول ۳. نتایج به‌دست‌آمده از خوشه‌بندی

نام ساختمان	ضرایب خوشه	نام ساختمان	ضرایب خوشه	خوشه
پخش فرآورده‌های نفتی	(۰/۶۴, ۰/۲۳, ۰)	ساختمان ۲ بهداشت	(۰/۶۷, ۰/۱۱, ۰)	کاملاً استاندارد
مرکزی اول قدیم نفت	(۰/۲۹,۰/۱۴, ۰/۲۸)			(بدون انحراف)
مرکزی پخش	(۰/۳۲, ۰/۶۹,۰)	مرکزی هفتم نفت	(۰, ۰/۶۲, ۰)	
منطقهٔ ۴ گاز تهران	(۰, ۰/۹۳, ۰)	مرکزی ششم نفت	(۰, ۰/۵۷, ۰/۲۲)	
بهار پخش	(۰, ۰/۳۴, ۰/۲۲)	مهندسی ۱۱ گاز	(۰, ۰/۸۹, ۰)	
خاقانی پخش	(۰, ۰/۷۸, ۰)	مرکزی هشتم نفت	(۰, ۱, ۰)	
منطقهٔ ۱ گاز تهران	(۰/۳۲, ۰/۷۲, ۰)	نفت مناطق مرکزی	(۰/۳۲, ۰/۷۲, ۰)	
مهندسی توسعهٔ ۸ گاز	(۰, ۰/۹۵, ۰)	مرکزی پنجم نفت	(۰, ۰/۳۷, ۰/۲۲)	انحراف متوسط با
ساختمان ۱ بهداشت	(۰, ۰/۷۸, ۰)	مرکزی دهم نفت	(۰, ۰/۳۳, ۰/۲۲)	استاندارد
تهران بزرگ	(۰, ۰/۶۹, ۰/۱۷)	مخابرات نفت	(۰, ۰/۶۸, ۰/۱۸)	
لاله نفت	(۰, ۰/۶۵, ۰)	برج گاز	(۰/۳۶, ۰/۵۹, ۰)	
مرکزی چهارم نفت	(۰, ۰/۳۱, ۰/۲۲)	منطقهٔ ۳ گاز تهران	(۰/۳۲, ۰/۷۲, ۰)	
جسکو نفت	(۰, ۱, ۰)	گاز استان تهران	(۰, ۰/۸۸, ۰)	
مهندسی توسعهٔ ۵ گاز	(۰, ۰/۶۹, ۰/۰۴)	مهندسی توسعهٔ نفت	(۰, ۰/۶۸, ۰/۲۴)	
خزر پخش	(۰, ۰/۰۸, ۰/۲۲)	ساختمان بسیج نفت	(۰, ۰/۳۱, ۰/۷۲)	
شانا	(۰, ۰/۲۳, ۰/۴۹)	انجمن نفت	(۰, ۰/۱۱, ۰/۵)	
مهندسی و فناوری	(۰, ۰, ۰/۹۸)	سمعی بصری	(۰, ۰/۱۵, ۰/۷۸)	کاملاً غیراستاندارد
حسابرسی	(۰, ۰, ۱)	مرکزی جدید نفت	(۰, ۰/۴, ۰/۵)	(انحراف شدید)
ایرانشهر پخش	(۰, ۰/۱۷, ۰/۷۲)	تندگویان	(۰, ۰, ۱)	
کانکس اداری	(۰/۳۲, ۰, ۰/۷۲)			

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که از بین ۳۸ ساختمان بررسی‌شده از نظر مصرف انرژی، ۳ ساختمان کاملاً استاندارد، ۲۴ مورد دارای انحراف متوسط از استاندارد و ۱۱ مورد کاملاً غیراستاندارد هستند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در کشور ما سهم مصرف انرژی در بخش‌های مختلف انرژی‌بر، هماهنگی مناسب و پذیرفته‌شده‌ای ندارد؛ در حالیکه بر اساس پیش‌بینی‌ها، پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در مجموعه بخش‌های انرژی‌بر، به‌طور متوسط حدود ۳۰ درصد است. از این رو، ضروری است که امکان کاهش مصرف در ساختمان‌های اداری وزارت نفت بررسی شود و این امر از طریق اجرای پروژه‌های ممیزی انرژی ساختمان میسر می‌شود. این تحقیق با هدف تحلیل نتایج به‌دست‌آمده از گزارش‌های ممیزی انرژی توسط شرکت‌های مشاوره‌ای اجرا شد تا درک جامعی از وضعیت

شاخص‌های بررسی‌شده در این گزارش‌ها به‌دست آید و مدلی ریاضی برای گروه‌بندی سازمان‌های تابع وزارت نفت واقع در تهران از نظر مصرف انرژی، ارائه شود. به این منظور از دو ابزار خوشه‌بندی خاکستری استفاده شده است. با توجه به تنوع شاخص‌های موجود در گزارش‌های ممیزی انرژی، ابتدا ۱۳ شاخص مشترک در تمام گزارش‌ها، به‌کمک روش خوشه‌بندی روابط خاکستری به دو دستهٔ کلی تقسیم شدند. با توجه به ارتباط شاخص‌های دستهٔ اول با نسبت انرژی ساختمان و شاخص‌های دستهٔ دوم با ضریب بار ساختمان، این دو مقدار برای تمام ساختمان‌ها استخراج شد و با در نظر گرفتن انحراف هریک از استاندارد مبحث ۱۹ و استاندارد بین‌المللی IEE، خوشه‌بندی ساختمان‌ها انجام پذیرفت. نتایج به‌دست‌آمده از به‌کارگیری خوشه‌بندی خاکستری با وزن‌های متغیر نشان داد از بین ۳۸ ساختمان، تنها ۳ ساختمان کمابیش استاندارد هستند و ۲۴ ساختمان انحراف متوسط دارند. به‌بیان دیگر کمتر از ۱۰ درصد ساختمان‌های بررسی‌شدهٔ تابع وزارت نفت با استانداردهای مبحث ۱۹ مطابقت نسبی دارند و حدود ۳۰ درصد از این ساختمان‌ها در کل استاندارد نیستند. این نتایج نشان می‌دهد وزارت نفت به‌عنوان یکی از سازمان‌های مسئول در زمینهٔ انرژی، به بازنگری و اقدام در خصوص بهبود شاخص‌های تأثیرگذار در مصرف انرژی ساختمان‌ها نیاز دارد.

این تحقیق می‌تواند مبنای تحقیقات بیشتری در زمینهٔ الگوهای رفتار مصرف انرژی در هریک از خوشه‌های به‌دست‌آمده باشد و می‌توان با استفاده از روش‌های تحقیق کیفی به بررسی تفاوت‌های فرهنگ مصرفی در هریک از خوشه‌ها پرداخت. علاوه‌بر این، مقایسهٔ خوشه‌های مصرف در سازمان‌ها و شهرهای مختلف می‌تواند در تحقیقات آتی بررسی شود.

References

Barr, S., Gilg, A.W. & Ford, N. (2005). The household energy gap: examining the divide between habitual- and purchase-related conservation behaviours. *Energy Policy*, 33(11): 1425-1444.

Encinas, N. & Alfonso, D. (2007). Energy market segmentation for distributed energy resources implementation purposes, *IET Generation Transmission & Distribution*, 1 (2): 324-330.

Filippin, C., Larsen, S.F. & Mercado, V. (2011). Winter energy behaviour in multi-family block buildings in a temperate-cold climate in Argentina. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1): 203-219.

International Energy Conservation Code (2006). *International code council*, Inc.

Jian, L., Liu, S. & Lin, Y. (2011). *Hybrid Rough Sets and Applications in Uncertain Decision-Making*, by Taylor and Francis Group, LLC.

Jiang, W., Zhong, X., Qi, J. & Zhu, C. (2007). Grey Rough Sets Hybrid Scheme for Intelligent Fault Diagnosis. *IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services*, November 18-20, Nanjing, China.

Li, G.D., Yamaguchi, D. & Lin, H.S. (2006). The simulation modeling about the developments of GDP, population and primary energy consumption in china based on MATLAB. *In: Proceedings of the IEEE International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems* (CIS 2006), Bangkok, Thailand, June 2006, pp 499–504.

Liu, S. & Lin, Y. (2006). *Grey Information Theory and Practical Applications*. Springer-Verlag London Limited.

Liu, S. & Lin, Y. (2010). *Grey Systems Theory and Applications*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Liu, S., Forrest, J. & Vallee, R. (2009). Emergence and development of grey systems theory. Kybernetes, 38(7/8): 1246-1256.

Michalik, G. & Mielczarski, W. (1996). Modeling of Energy Use Patterns in the Residential Sector Using Linguistic Variables. *8th International Conference on Intelligent Systems applications to Power Systems*, Orlando, Florida, USA: 1996, pp. 278-282.

Raaij, W.V. & Verhallen, M.M. (1983). A Behavioral Model of Residential Energy Use. *Journal of Economic Psychology*, 3(1): 39-63.

Stephenson, J., Barton, B., Carrington, G., Gnoth, D., Lawson, R. & Thorsnes, P. (2010). Energy cultures: A framework for understanding energy behaviours. *Energy Policy*, 38(10): 6120-6129.

Wang, Q. (2009). Grey Prediction Model and Multivariate Statistical Techniques Forecasting Electrical Energy Consumption in Wenzhou, China. *Intelligent Information Technology and Security Informatics*. IITSI'09. Second International Symposium, pp. 167–170.

Wang, Q., Xia, F. & Wang, X. (2009). Integration of Grey Model and Multiple Regression Model to Predict Energy Consumption. *Proceedings of the International Conference on Energy and Environment Technology* (ICEET '09); October 2009; Guilin, China. pp. 194–197.

Xie, Y. & Li, M. (2009). Research on Prediction Model of Natural Gas Consumption Based on Grey Modeling Optimized by Genetic Algorithm. *IITA International Conference on Control*, Automation and Systems Engineering. 335–337. Article number 5194459.

Yu, Z., Fung, C.M., Haghighat, F., Yoshino, H. & Morofsky, E. (2011). A systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption. *Energy and Buildings*, 43(6): 1409–1417.