مدیریت فناوری اطلاعات
دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران

دورهٔ ۷، شمارهٔ ۲
تابستان ۱۳۹۴
ص. ۳۸۴- ۳۶۳

# طراحی سیستم خبره به‌منظور تحلیل رفتار مصرف انرژی کارکنان به‌کمک مدل‌سازی راف

تورج کریمی[۱]

**چکیده:** شناخت رفتارهای مصرف انرژی و تغییر آنها، به دانش گسترده‌ای دربارهٔ محرک‌های رفتار و بیان این دانش به‌صورت برنامه‌های مداخله‌گر موفق نیاز دارد. در این مقاله، رفتار مصرف انرژی کارکنان در سازمان، به‌کمک مدل‌سازی راف بررسی شده است. به این منظور پس از انتخاب ۱۳ مشخصهٔ موقعیتی (شامل شاخص‌های جمعیتی، ارزشی، نگرشی و سازمانی کارکنان) و یک مشخصهٔ تصمیم (رفتار مصرف انرژی روشنایی کارکنان)، سیستم اطلاعاتی راف ایجاد شد. ۴۸۲ نفر از کارکنان شاغل در ۳۷ ساختمان اداری وزارت نفت، به‌صورت تصادفی انتخاب شدند و مدل‌سازی راف برای آنها به اجرا درآمد. با تلفیق روش‌های مختلف گسسته‌سازی داده، تولید بی‌زائده و تولید قوانین و به‌کمک نرم‌افزار ROSETTA، نُه مجموعهٔ قانون تولید شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد از بین ۱۳ مشخصهٔ موقعیتی، چهار مشخصهٔ شهروند سازمانی، رضایتمندی، نوع نگاه به رفتار و امکان کنترل روشنایی، اصلی‌ترین مشخصه‌های سیستم‌اند و در تمام بی‌زائده‌های تولیدشده، وجود داشتند. پس از اعتبارسنجی مدل‌های مختلف، مدل گسسته‌کردن دستی داده‌ها که بی‌زائده‌های آن به‌کمک الگوریتم ژنتیک و با رویکرد ORR استخراج شدند، بالاترین دقت و اعتبار را نشان دادند.

پرتال جامع علوم انسانی

***واژه‌های کلیدی: استنتاج قوانین، رفتار مصرف انرژی، مجموعه‌های راف، ROSETTA.***

۱. استادیار مدیریت کسب‌وکار، پردیس فارابی دانشگاه تهران، تهران، ایران

**تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۹/۰۲**
**تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹٤/۰۲/۰۷**
**E-mail: tkarimi@ut.ac.ir**

## مقدمه[1]

بیشتر مدل‌های ایجادشده در زمینهٔ مصرف انرژی در بخش خانگی، به‌دنبال تعیین محرک‌های رفتاری و رابطهٔ بین این محرک‌ها هستند. هیچکاک در سال ۱۹۹۳ برای تشریح زیرسیستم انسانی و زیرسیستم فیزیکی خانوار، از چارچوبی استفاده کرد که زیرسیستم‌ها را از دید علم جامعه‌شناسی و علم مهندسی مطالعه می‌کرد. بر اساس مدل او، مصرف انرژی از رفتار ناشی می‌شود و در کنار آن، ویژگی‌های فیزیکی خانه نیز بر مصرف اثر می‌گذارد. علوم اجتماعی به مقولهٔ مصرف انرژی همچون رویدادی انسان‌محور می‌نگرد و بر زیرسیستم انسانی و سیستم‌های اقتصادی و فرهنگی در محیط تمرکز می‌کند. مدل‌های فرهنگی تلاش دارند رابطهٔ بین جنبه‌های اساسی رفتارهای اجتماعی و مصرف انرژی را تشریح کنند. بنابراین این مدل‌ها به الگوهای عمومی مصرف، مباحث سبک زندگی و جنبه‌های نمادین مصرف انرژی، می‌پردازند (هیچکاک، ۱۹۹۳).

مطالعات حوزهٔ کارایی انرژی در گذشته، فقط بر یک عامل مانند اطلاعات آماری[2] تمرکز داشته‌اند و نسبت به دامنهٔ گسترده‌ای از عوامل، مانند توانایی‌های شناختی افراد، نگرش‌ها و ارزش‌ها و همچنین عوامل خارجی، مانند شبکه‌های اجتماعی، بازارها، محصول‌ها و خدمات، بی‌توجه بوده‌اند. از آنجا که تصمیم‌های خرید یا رفتار مصرف انرژی، تحت تأثیر دامنهٔ گسترده‌ای از عوامل داخلی و خارجی قرار دارد، دامنهٔ گسترده‌ای از تئوری‌های رفتار مصرف‌کننده، ویژگی‌های محصول و تئوری‌های اجتماعی/ محیطی مصرف انرژی، نقد و بررسی شده است (فاییرز، کوک و نم، ۲۰۰۷). به‌منظور توسعهٔ مدلی رفتاری برای بررسی مصرف انرژی، باید در کنار عوامل تکنولوژیکی و فیزیکی، رفتار مصرف‌کنندگان نیز عامل مهمی در نظر گرفته شود و اثر عوامل دیگری چون کیفیت وضعیت گرمایش ساختمان، رفتار مصرف‌کننده، درجهٔ گرمایی متعادل[3]، نوع ساختمان از نظر تعداد خانوار ساکن و... در تقاضای انرژی گرمایشی بررسی شود (هاس، آور و بیرمایر، ۱۹۹۸).

این پژوهش قصد دارد به‌کمک تئوری راف، رفتارهای مصرف انرژی کارکنان در محیط کار را مدل‌سازی کند. در این مقاله رفتار مصرف انرژی بررسی می‌شود و جامعهٔ آماری آن، کارکنان شاغل در سازمان انتخاب شده است. ابزار به‌کاررفته براساس یکی از تئوری‌های عدم قطعیت است که کمتر شناخته‌شده و قدرتمند پایه‌ریزی شده است. با توجه به هدف این مقاله، باید ابتدا عوامل اثرگذار بر رفتار مصرف انرژی کارکنان در سازمان شناسایی شود و سپس با بررسی

---

۱. این مقاله برگرفته از طرح پسادکتری صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران ایران است.

2. Demographic

3. Heating degree days

مشاهده‌ها، قوانین راف استخراج و اعتبارسنجی شود. بنابراین در بخش بعدی، ضمن مرور پیشینهٔ مطالعات در حوزهٔ رفتار مصرف انرژی، عوامل اثرگذار بر مصرف شناسایی می‌شود. با توجه به اینکه هدف اصلی پژوهش، ارائهٔ مدل قوانین به‌کمک تئوری مجموعه‌های راف است، خلاصه‌ای از تئوری مجموعه‌های راف و مفاهیم اساسی مرتبط با آن تشریح می‌شود. مقاله با توضیحی دربارهٔ فرایند مدل‌سازی راف به‌کمک داده‌های رفتار کارکنان در سازمان‌های منتخب، ادامه می‌یابد و در نهایت خروجی‌های اجرای مدل‌های مختلف به‌کمک نرم‌افزار ROSETTA ارائه می‌شود. بخش پایانی، به نتایج اجرای مدل‌ها از لحاظ تحلیل رفتار مصرف و مقایسهٔ بین رویکردهای دیگر مدل‌سازی راف، اختصاص دارد.

## پیشینهٔ پژوهش

فعالیت‌های ساکنان هر ساختمان را می‌توان نتیجهٔ نیازهای روانی یا هنجارهای اجتماعی ـ فرهنگی یا ترکیبی از این عوامل دانست که رفتار هر انسان را شکل می‌دهد. منظور از رفتار انسانی در مصرف انرژی، عادت‌ها و فعالیت‌هایی است که ساکنان در خانه و بر اساس محرک‌های فرهنگی، اجتماعی و روان‌شناختی انجام می‌دهند (پاپاکستاس، ۱۹۹۷). انواع رفتار در زمینهٔ انرژی را می‌توان به دو دستهٔ اصلی «رفتارهای مبتنی بر خرید» و «رفتارهای عادتی»[1] تقسیم کرد. رفتار عادتی بر کاهش روزانهٔ مصرف انرژی تمرکز دارد و به تغییرات ساختاری نیازی ندارد. این‌گونه رفتارها شامل تنظیمات ترموستات، بستن اتاق‌های بی‌استفاده، تغییر نوع استفاده از اتاق‌ها، بستن پنجره‌ها زمانی که سیستم گرمایشی روشن است، استفاده از لباس گرم به جای بالابردن درجهٔ دما، پرنکردن کامل کتری برای جوشاندن آب و... می‌شود و به رفتارها و عادت‌های اساسی روزانه و سبک زندگی افراد ارتباط دارد. این رفتارها اعمالی هستند که ما بدون تفکر آنها را انجام می‌دهیم. رفتارهای عادتی در زمینه‌های اجتماعی ـ روان‌شناسی جذابیت بسیاری دارد و شامل تصمیم‌گیری‌های روزانهٔ افراد بر اساس تجربه‌های گذشته است (بار، گیلگ و فور، ۲۰۰۵). در ادامه، به برخی از مطالعات در زمینهٔ بررسی رفتارهای مصرف انرژی اشاره می‌شود.

در پژوهش فیلیپین، لارسن و مارکادو (۲۰۱۱)، رفتار مصرف انرژی خانوارهای ساکن در بلوک‌های ساختمانی واقع در منطقهٔ سردسیری از آرژانتین در زمستان بررسی شده است. هدف کلی محققان، ارزیابی رفتار گرمایشی ساکنان مجتمع‌های مسکونی آرژانتین و ارائهٔ پیشنهادهایی

1. Habitual action

برای ارتقای وضعیت گرمایش این منازل بود. آنها به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها، از سنسورهای خاصی که در محل‌های مشخص ساختمان نصب شده بود، استفاده کردند.

آیدینالپ و اوگورسال (۲۰۰۸) برای مدل‌سازی مصرف انرژی مصرف‌کنندگان نهایی خانگی در سطح کانادا، روش CDA[1] را به‌کار بردند و نتایج آن را با روش شبکه‌های عصبی و یکی از روش‌های مهندسی مقایسه کردند. روش CDA، روشی بر پایهٔ رگرسیون است. اساس این روش آن است که مصرف انرژی یک خانوار را می‌توان حاصل جمع انرژی مصرفی هریک از وسایل خانه در نظر گرفت. بنابراین مصرف یک خانوار، به‌طور مستقیم به اسباب آن خانوار، ویژگی‌های مشخصهٔ هریک از ابزارها، ویژگی‌های منزل، الگوهای مصرف و الگوهای رفتاری نسبت به هریک از وسایل، وابسته است.

مطالعهٔ هنریسون، هاکارسون و پیرکو (۲۰۰۰) نشان می‌دهد تأثیرگذاری بر مصرف انرژی از طریق اطلاعات امکان‌پذیر است. ارتقای دانش مصرف‌کنندگان می‌تواند آنها را نسبت به مصرف کارای انرژی ترغیب کند. هدف مقالهٔ مک‌کالی و میدن (۲۰۰۲) یافتن ابزاری برای ارتقای رفتار محافظ انرژی از طریق بازخورهای انرژی است.

در مقالهٔ لیندن، کارسون و اریکسون (۲۰۰۶) ضمن شناسایی الگوهای رفتاری کارا و ناکارا در مصرف انرژی خانگی، راهکارهایی برای بهبود رفتارهای ناکارا و حفظ انرژی ارائه شده است. این مقاله نشان می‌دهد زمانی که نوع تجهیزات و وسایل انرژی‌بر یکسان‌اند، رفتارها بر مصرف خانگی اثر می‌گذارد. در پژوهش یان و لیفانگ (۲۰۱۱)، تأثیر عوامل روان‌شناختی، خانوادگی و زمینه‌ای بر رفتار مصرف انرژی خانگی در چین بررسی شده است. نتیجهٔ این پژوهش نشان داد «نگرانی برای انرژی»[2]، «ارزش‌های زیست‌محیطی»، «موانع رفتاری»، «پس‌انداز پول» و «هنجارهای فردی»، مهم‌ترین و قدرتمندترین متغیرهای پیش‌بین برای رفتار مصرف انرژی است.

در پژوهش یو و همکارانش (۲۰۱۱) برای نشان‌دادن تأثیر رفتار ساکنان بر مصرف انرژی ساختمان، روش جدیدی ارائه شده است که برپایهٔ روش‌های داده‌کاوی (تحلیل خوشه‌ای) استوار است. در این پژوهش عوامل اثرگذار بر مصرف انرژی ساختمان به هفت گروه زیر دسته‌بندی شده است:

۱. آب و هوا (درجهٔ دمای خارج ساختمان، شدت تابش خورشید، سرعت باد و...)؛
۲. ویژگی‌های ساختمان (نوع، مساحت، موقعیت و...)؛

---

1. Conditional demand analysis
2. Energy concern

۳. ویژگی‌های مصرف‌کنندگان به غیر از عوامل اجتماعی و اقتصادی (مانند تعداد افـرادی که در خانه حضور دارند)؛
۴. سیستم‌های سرویس‌دهی ساختمان (سیستم خنک‌کننده، گرمایش، آب گرم و...)؛
۵. رفتارها و فعالیت‌های ساکنان ساختمان؛
۶. عوامل اجتماعی و اقتصادی (میزان آموزش، هزینهٔ انرژی و...)؛
۷. کیفیت وضعیت محیطی داخلی.

در جدول ۱ خلاصه‌ای از مطالعات گذشته در حوزهٔ رفتار مصرف انرژی سـاکنان سـاختمان و برخی عوامل اثرگذار بر رفتار مصرف، آمده است.

**جدول ۱. خلاصه‌ای از پژوهش‌های گذشته در حوزهٔ رفتار مصرف انرژی**

| محقق/ محققان | شاخص‌ها و عوامل استفاده‌شده در پژوهش |
|---|---|
| لینگ‌یان، رائو، هولانگ و ژاهو (۲۰۱۱) | - هنجارهای اجتماعی<br>- رفتارهای خرید<br>- رفتاهای نگهداری<br>- رفتارهای مصرف<br>- مصرف انرژی در ایاب و ذهاب<br>- استفاده از انرژی‌های سبز (نگرش و رفتار مصرف‌کنندگان)<br>- هنجارهای اجتماعی (مانند خجالت از رفتار خاص، باکلاس دانستن رفتاری خاص)<br>- استانداردهای فرهنگی (رفتارهای پسندیده و ناپسند)<br>- قصد رفتار[1] (تمایل و انگیزه برای رفتار) |
| گیبرگ و پالم (۲۰۰۹) | - استفاده از ماشین شخصی یا حمل‌ونقل عمومی<br>- مشاهدهٔ سایت‌های اطلاع‌دهنده دربارهٔ انرژی<br>- توجه به آیندگان<br>- حفظ محیط زیست<br>- دلایل مادی (پول یا هر عایدی حاصل از تغییر رفتار) |
| آبراهام، استگ و ولگ (۲۰۰۷) | - دانش افراد نسبت به انرژی<br>- استفاده از انرژی‌های سبز |
| استار (۲۰۰۹) | - مصرف اخلاقی در مقابل مصرف عمومی<br>- سن و تحصیلات (آگاهی جوان‌ترها نسبت به مشکلات محیطی)<br>- جنسیت (زنان حساس‌تر به مسائل اخلاقی)<br>- ارزش‌های اجتماعی<br>- اعتقادات مذهبی<br>- نگرش نسبت به مصرف اخلاقی |

1. Intention

**ادامهٔ جدول ۱**

| محقق/ محققان | شاخص‌ها و عوامل استفاده‌شده در پژوهش |
|---|---|
| بار، گیلگ و فورد (۲۰۰۵) | رفتارهای مبتنی بر خرید مانند:<br>- انتخاب فناوری<br>- ایزوله‌کردن دیوار و سقف<br>- دو جداره‌کردن پنجره‌ها<br>- خرید وسایل کم‌مصرف<br>رفتارهای عادتی مانند:<br>- تنظیم ترموستات<br>- بستن اتاق‌های بی‌استفاده<br>- بستن پنجره‌ها<br>- پوشیدن لباس گرم<br>ویژگی‌های شخصیتی مانند:<br>- راحتی افراد (راحت‌طلبی در ارتباط با انرژی)<br>- نگرانی نسبت به محیط زیست<br>- نگرانی نسبت به قیمت<br>- مسئولیت شخصی برای حفظ انرژی<br>- هنجارهای جامعه (فشار خانواده و دوستان برای صرفه‌جویی در انرژی)<br>- خودنمایی (رفتاری برای جلب توجه) |
| فانچس، مارکلی و دیویس (۲۰۰۹) | رفتارهای انتقام‌جویی و کین‌خواهی[1] کارکنان مانند:<br>- ایجاد هزینه با کار زیادتر[2]<br>- خراب‌کاری‌کردن (آسیب‌زدن)[3] |
| یالی (۲۰۰۹) | - ارزش‌های سازمانی<br>- هنجارهای سازمانی<br>- نگرش و رفتار نیروی کار |
| گلدکمیک و چانگ (۲۰۰۱) | - اندازهٔ سازمان<br>- رضایتمندی کارکنان<br>- ساختار سازمان |

1. Retaliatory
2. Cost/loss
3. Vandalism

## مدل‌سازی راف

در اختیار داشتن حجم زیاد داده‌ها در دنیای واقعی، نمایانگر این است که ما از نظر مقدار داده غنی و از لحاظ مقدار دانش فقیریم؛ به همین دلیل روش‌های تحلیلی داده‌کاوی[1] برای استخراج دانش از دل داده‌ها ارائه شده است. تئوری مجموعه‌های راف[2] یکی از این روش‌هاست که محققی لهستانی به نام پاولاک آن را در سال ۱۹۸۲ معرفی کرده است. به‌کمک تئوری مجموعه‌های راف یا RST، می‌توان جدول داده‌ها را تحلیل کرد؛ داده‌هایی که از طریق اندازه‌گیری یا خبرگان به‌دست آمده است. در این تئوری، مجموعهٔ داده‌ها در قالب جدولی نشان داده می‌شود که هر سطر این جدول نمایندهٔ یک مورد، یک رویداد، یک گزینه یا هر چیز مشابه آن است و هر ستون، یک ویژگی، یک متغیر، یک مشاهده و نظایر آن است که می‌تواند برای هر موردی اندازه‌گیری شود. این جدول را در RST با نام سیستم اطلاعاتی می‌شناسند. به‌طور دقیق‌تر، سیستم اطلاعاتی یک زوج مرتب $S = (U, A)$ است. U مجموعهٔ غیرتهی محدود از رویدادها است و مجموعهٔ مرجع نامیده می‌شود. A نیز مجموعهٔ غیرتهی محدود از مشخصه‌ها است. اگر $V_a$ را مجموعهٔ ارزش‌ها بنامیم، رابطهٔ ۱ را داریم:

رابطهٔ ۱) $a : U \to V_a$ برای تمام $a \in A$

در هر سیستم اطلاعاتی می‌توان شاخص‌های مجموعهٔ A را به دو زیرمجموعهٔ جدا از هم تقسیم کرد که یکی از گروه‌ها را مشخصه‌های موقعیتی[3] یا C می‌گویند و گروه دیگر را مشخصه‌های تصمیم یا D می‌نامند که $A = C \cup D$ , $C \cap D = \phi$. در این صورت S جدول تصمیم نامیده می‌شود. مشخصهٔ تصمیم، مشخصه‌ای منحصربه‌فرد است که به کمک آن می‌توان مشاهدات را به کلاس‌های تصمیم مختلفی که خبرگان یا سایر منابع اطلاعاتی مشخص کرده‌اند، تقسیم کرد. در این تئوری، مشاهدات با عنوان کلاس‌های همسان تقسیم‌بندی می‌شود. کلاس‌های همسان مجموعه‌ای از مشاهدات را شکل می‌دهد که با توجه به مشخصه‌ها نمی‌توان آنها را از یکدیگر تشخیص داد. سیستم اطلاعاتی $S = (U, A)$ را در نظر بگیرید که برای هر $B \subseteq A$ رابطهٔ هم‌ارزی به‌شکل زیر برقرار است:

رابطهٔ ۲) $IND_S(B) = \{(x, x') \in U^2 : \forall a \in B,\ a(x) = a(x')\}$

---

1. Data mining
2. Rough Set Theory
3. Conditional attribute

اگر $(x,x') \in IND_S(B)$ باشد، آنگاه با در نظر گرفتن مشخصه‌های B، اعضای $x$ , $x'$ از هم تشخیص داده نمی‌شوند. به بیان دیگر، این دو عضو را نمی‌توان از طریق مشخصه‌های مجموعهٔ B از هم متمایز کرد. کلاس‌های هم‌ارز رابطهٔ IND را به‌شکل $[x]_B$ نشان می‌دهند. مجموعهٔ راف، مجموعه‌ای از مشاهدات است که نمی‌توان آنها را به‌کمک این کلاس‌های همسان منحصربه‌فرد نشان داد، بلکه فقط می‌توان آنها را تقریب زد. اگر نتوان کلاس‌های تصمیم مختلف را به‌کمک اطلاعات درج‌شده در جدول به‌صورت منحصربه‌فرد نمایش داد، آنگاه کلاس‌های تصمیم، راف نامیده می‌شوند (آبراهام، فالکوم و بلو، ۲۰۰۹).

برخی ویژگی‌های مهم سیستم اطلاعاتی، براساس رابطهٔ «عدم تمایز» تعیین می‌شود. اگر تعداد اعضای همسانی که از مجموعهٔ مشخصه‌های A استخراج شده است با تعداد اعضای همسان $(A - a_i)$ برابر باشد، آنگاه مشخصهٔ $a_i$ را مشخصهٔ زائد یا تکراری[1] می‌نامند و در غیر این صورت به آن مشخصهٔ ضروری[2] می‌گویند. کاهش مشخصه‌ها موجب می‌شود که فقط آن دسته از مشخصه‌هایی که موجب تفکیک مشاهدات و تقریب مجموعه‌ها شده‌اند، حفظ شوند. مشخصه‌های کنار گذاشته‌شده زائد یا بی‌اثرند؛ چرا که حذف آنها نمی‌تواند دسته‌بندی‌ها را خدشه‌دار کند. معمولاً زیرمجموعه‌های مختلفی با این ویژگی وجود دارد که به آن دسته از زیرمجموعه‌هایی که حداقل مشخصه را دارند، «بی‌زائده»[3] می‌گویند. اگر سیستم اطلاعاتی به‌شکل $S = (U, A)$ باشد، یک «بی‌زائده» برای مجموعهٔ S عبارت است از مجموعه‌ای کمینه از مشخصه‌ها به‌شکل $B \subseteq A$ به قسمی که $IND_S(B) = IND_S(A)$. به بیان دیگر، «بی‌زائده»، مجموعه‌ای کمینه از مشخصه‌ها است که تقسیم‌بندی سیستم را حفظ می‌کند و قدرت دسته‌بندی آن معادل قدرت دسته‌بندی کل مشخصه‌ها است (ژیانگ، لیو و لی، ۲۰۱۱). به بیان ساده‌تر، بی‌زائده کوچک‌ترین زیرمجموعه از مشخصه‌های موقعیتی است که مشخصه‌های تکراری یا زائد ندارد، اما به کلاسه‌بندی درست منجر می‌شود. کشف وابستگی مشخصه‌ها به تولید بی‌زائده‌هایی می‌انجامد که از کیفیت تقسیم‌بندی نظیر مجموعهٔ اصلی برخوردارند. مشخصهٔ مشترک بین تمامی بی‌زائده‌ها را «هسته»[4] می‌نامند. در جدول تصمیم ممکن است بیش از یک «بی‌زائده» وجود داشته باشد، در این صورت نقطهٔ مشترک بین تمام بی‌زائده‌ها یا هستهٔ جدول تصمیم، به شکل رابطهٔ ۳ نشان داده می‌شود.

---

1. Redundant
2. Indispensable
3. Reduct
4. Core

$$CORE(P) = \bigcap_{R_i \in RED(P)} R_i \qquad i = (1,2,...,n)$$ رابطهٔ ۳)

هسته، مهم‌ترین مجموعهٔ مشخصه‌های سیستم اطلاعاتی را نمایش می‌دهد و ممکن است مجموعه‌ای تهی باشد.

اصلی‌ترین عملیات در RST تقریب بالا و پایین است؛ این تقریب‌ها برای تشخیص اجزای کاملاً وابسته یا نیمه‌وابسته در جدول اطلاعات به‌کار می‌روند. فرض کنید $S = (U, A)$ نوعی سیستم اطلاعاتی باشد و در نظر بگیرید $X \subseteq U \ , \ B \subseteq A$؛ می‌توان X را تنها با به‌کارگیری اطلاعات B و ایجاد تخمین‌های پایین و بالای B از X تخمین زد که با $\underline{B}X$ و $\overline{B}X$ نشان داده می‌شوند. اگر سیستم اطلاعاتی $S = (U, A)$را داشته باشیم و $X \subseteq U \ , \ B \subseteq A$ باشد، آنگاه داریم:

$$\underline{B}X = \underline{apr}_B(X) = \{x : [x]_B \subseteq X\}$$ رابطهٔ ۴)

$$\overline{B}X = \overline{apr}_B(X) = \{x : [x]_B \cap X \neq \varphi\}$$ رابطهٔ ۵)

اعضای $\underline{B}X$ را می‌توان با قطعیت و برپایهٔ دانش موجود در B، عضو X دانست؛ در حالی‌که اعضای $\overline{B}X$ را می‌توان اعضای محتمل یا ممکن X شمرد (کریمی و صادقی‌مقدم، ۲۰۱۴).

در بسیاری از سیستم‌های یادگیری، استنتاج قوانین یکی از وظایف ضروری است. یک قانون به‌صورت رابطهٔ ۶ نمایش داده می‌شود.

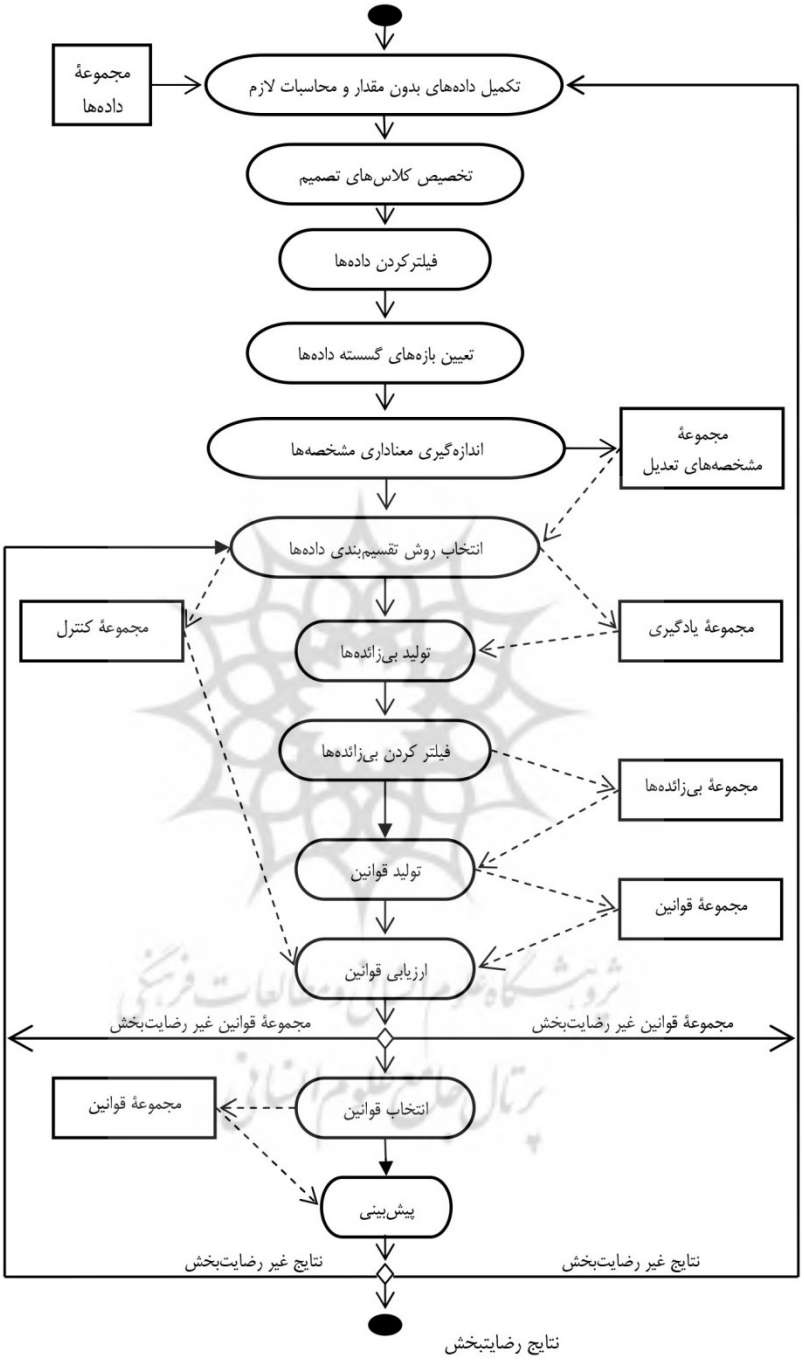
$$IF, f(x, q_1) = r_{q1} \wedge f(x, q2) = r_{q2} \wedge f(x, q_p) = r_{qp} \quad THEN \ x \in Y_{j1} \vee Y2 \vee \ldots \vee Y_{jk}$$
$$\{q_1, q_2, \ldots, q_p\} \subseteq C; (r_{q1}, r_{q2}, \ldots, r_{qp}) \in V_{q1} \times V_{q2} \times \ldots V_{qp}$$ رابطهٔ ۶)

مجموعهٔ تمام مشخصه‌های موقعیتی را کلاس‌های موقعیتی[1] S می‌نامند و آن را به‌شکل $X_i(i = ۱, ۲, ..., n)$ نشان می‌دهند. مجموعهٔ مشخصه‌های تصمیم را کلاس‌های تصمیم[2] S می‌گویند و به‌شکل $Y_j(j = ۱, ۲, ..., n)$ نشان می‌دهند.

به‌طور خلاصه می‌توان فرایند مدل‌سازی راف را مانند شکل ۱ نشان داد (گائوجان و یان، ۲۰۰۶). در بخش‌های بعدی چگونگی پیاده‌سازی هریک از گام‌های فوق برای مدل‌سازی رفتار مصرف انرژی کارکنان توضیح داده خواهد شد.

---

1. Condition classes
2. Decision classes




**شکل ۱. فرایند مدل‌سازی راف**

## مدل پژوهش

رفتار انرژی مصرف‌کنندگان می‌تواند با نمایش تعامل بین هنجارهای شناختی (باورها، ادراکات)، ویژگی‌های فیزیکی (فناوری‌ها، شکل ساختمان‌ها) و عادت‌های انرژی (فعالیت‌ها، فرایندها) درک شود. هر یک از این سه بعد می‌تواند سیستم جداگانه‌ای فرض شود؛ ویژگی‌های فیزیکی، سیستمی کاملاً فنی، عادت‌های انرژی سیستمی از تعامل‌های بین رفتارهای فردی، اجتماعی و سازمانی و هنجارهای شناختی، سیستمی از نگرش‌ها، ارزش‌ها و عقاید در نظر گرفته شود (استیفنسون و بارتون، ۲۰۱۰).

براساس مطالعات صورت‌گرفته در خصوص رفتار مصرف انرژی که خلاصه‌ای از آن در بخش پیشینهٔ پژوهش بیان شد و مصاحبه با خبرگان حوزهٔ مدیریت انرژی و رفتار سازمانی، می‌توان سیستم تصمیمی برای مطالعهٔ رفتار مصرفی کارکنان در سازمان ایجاد کرد. مشخصهٔ تصمیم در این سیستم، رفتار مرتبط با مصرف انرژی است و مشخصه‌های موقعیتی از پنج ویژگی جمعیتی (شامل جنسیت، سن، سابقه، تحصیلات و نوع استخدام) و هشت ویژگی مربوط به ارزش‌ها، نگرش‌ها، ویژگی‌های شخصیتی و هنجارهای اجتماعی تشکیل شده است که در جدول‌های ۲ و ۳ اطلاعات این مشخصه‌ها آمده است.

**جدول ۲. مشخصه‌های موقعیتی**

| مشخصه | عنوان | دامنهٔ مقادیر | مشخصه | عنوان | دامنهٔ مقادیر |
|---|---|---|---|---|---|
| C۱ | جنسیت | {زن، مرد} | C۴ | تحصیلات | {زیر دیپلم، دیپلم، فوق دیپلم، کارشناس، کارشناس‌ارشد، دکتری} |
| C۲ | سن | [۲۱, ۵۹] | | | |
| C۳ | سابقه | [۱, ۳۸] | C۵ | استخدام | {رسمی، پیمانی، پیمانکاری} |

با توجه به اینکه تمام مشخصه‌های جدول ۲ به‌کمک طیف لیکرت پنج‌تایی سنجیده می‌شود، دامنهٔ مقادیر این مشخصه‌ها {۵ , ۴ , ۳ , ۲ , ۱}است، اما با توجه به دو سؤال مطرح‌شده برای مشخصهٔ C۷ دامنهٔ مقادیر این مشخصه {۵ , ۴/۵ , ۴ , ۳/۵ , ۳ , ۲/۵ , ۲ , ۱/۵ , ۱}است.

جدول داده‌های این پژوهش از ۴۸۴ مشاهده شکل گرفته است. هر مشاهده مختص به یکی از کارکنانی است که از بین شاغلان ساکن در ۳۷ ساختمان اداری وزارت نفت واقع در تهران به‌صورت تصادفی انتخاب شده است و اطلاعات جدول‌های ۱ و ۲ برای هر یک از آنها جمع‌آوری شده است.

**جدول ۳. سؤال‌های مشخصه‌های موقعیتی**

| مشخصه | عنوان | سؤال |
|---|---|---|
| C۶ | نگرش نسبت به محیط زیست | چقدر در فعالیت‌های حفاظت محیط زیست مشارکت دارید؟ |
| C۷ | اعتقادات مذهبی | تا چه اندازه می‌توانید جهان را بهتر کنید و در این راه حاضرید چقدر فداکاری کنید؟ |
| C۸ | رفتار شهروندی سازمانی | از زمان پیوستن به این سازمان، چقدر ارزش‌های شخصی شما مشابه ارزش‌های سازمان شده است؟ آیا آنچه برای سازمان اهمیت دارد، برای شما نیز اهمیت پیدا کرده است؟ |
| C۹ | مسئولیت‌های شخصی در مقابل انرژی | تا چه حد در مقابل مصرف نادرست انرژی توسط همکاران خود احساس مسئولیت می‌کنید و به آنها تذکر می‌دهید؟ |
| C۱۰ | تعلق و تعهد سازمانی | چقدر مسائل سازمان را مسائل خودتان می‌دانید و حاضرید برای کاهش هزینه‌های سازمان حتی از راحتی خود بگذرید؟ |
| C۱۱ | رضایت از ماهیت کار (حجم و نوع کار) | تا چه حد شغل شما متناسب با احساس و روحیهٔ شما است و از انجام آن احساس رضایت می‌کنید؟ |
| C۱۲ | نوع نگاه به رفتار خاص | به نظر شما زمانی که کارکنان پس از ترک سازمان فراموش کنند رایانه، چراغ‌های اتاق یا سیستم تهویه را خاموش کنند، چقدر احساس خجالت و شرمندگی در آنها ایجاد می‌شود؟<br>چقدر معتقدید از دید کارکنان سازمان، رفتاری که به تحمیل هزینهٔ اضافی برای سازمان منجر شود، رفتاری غیر اخلاقی محسوب می‌شود؟ |
| C۱۳ | کنترل روشنایی | با توجه به سیستم روشنایی سازمان، تا چه اندازه می‌توانید در مواقع لزوم روشنایی مکان‌های بی‌استفاده را کم کنید؟ |
| D | رفتارهای روشنایی | آیا هنگام خروج از اتاق در وقت اداری و هنگام ترک سازمان بعد از وقت اداری، سیستم روشنایی را خاموش می‌کنید؟ |

بر اساس فرایند شکل ۱ برای تکمیل داده‌های بی‌مقدار، از بین روش‌های گوناگون روش حذف انتخاب شد. بدین ترتیب پس از حذف مشاهدات بدون داده، تعداد مشاهدات به ۳۷۲ کاهش یافت. زمانی که تعداد مشاهدات زیاد باشد، این روش برای تکمیل داده‌ها بهترین روش منتخب است. برای مطالعهٔ بیشتر دربارهٔ روش‌های تکمیل داده به (کریمی و صادقی‌مقدم، ۲۰۱۴) مراجعه کنید.

با توجه به اینکه دامنهٔ مقادیر ممکن برای دو مشخصهٔ «سن» و «سابقه» پیوسته است، ابتدا باید داده‌های این دو مشخصه گسسته شود. بدین منظور، از بین روش‌های گوناگون، دو روش متداول دستی و آنتروپی انتخاب شد. در روش اول با بهره‌مندی از نظر خبرگان، دامنهٔ مقادیر این مشخصه گسسته شد و در روش دوم این کار به‌کمک شاخص آنتروپی گسسته‌سازی انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۴ نشان داده شده است. برای اطلاع از الگوریتم هر یک از روش‌های فوق کلارک و بارتون (۲۰۰۰) و لادر و ویدمر (۲۰۰۰) را ببینید.

**جدول ٤. گسسته‌کردن داده‌ها**

| مشخصه | دامنهٔ مقادیر | دستی | آنتروپی |
|---|---|---|---|
| C۲ | [۲۱ , ۵۹] | {(- , ۳۰] , (۳۰ , ۵۰] , (۵۰ , -)} | {(- , ۴۲] , (۴۲ , ۴۹] , (۴۹ , -)} |
| C۳ | [۱ , ۳۸] | {(- , ۵] , (۵ , ۲۰] , (۲۰ , -)} | {(- , ۱۸] , (۱۸ , ۲۹] , (۲۹ , -)} |

برای اعتبارسنجی قوانین به‌دست‌آمده، باید جدول تصمیم را با مجموعهٔ مرجع U به دو جدول تصمیم تصادفی و غیرمرتبط به هم با نام مجموعه‌های مرجع $U_2$ و $U_1$ تقسیم کرد، به‌طوری که رابطهٔ ۷ برقرار باشد.

$$U = U_1 \cup U_2 \quad , \quad U_1 \cap U_2 = \phi$$ رابطهٔ ۷)

به بیان دیگر، برای اعتبارسنجی باید داده‌ها به دو گروه یادگیری و کنترل تقسیم شوند؛ بدین ترتیب می‌توان به‌کمک داده‌های گروه یادگیری، قوانین را استخراج کرد و به‌کمک داده‌های گروه کنترل، نتایج به‌دست‌آمده از قوانین را آزمود. در عمل باید داده‌ها به‌طور تصادفی به گروه یادگیری و کنترل تقسیم شوند. با تقسیم داده‌ها به دو گروه یادگیری و کنترل، می‌توان قدرت پیش‌بینی و اعتبار مدل را سنجید، اما تقسیم‌بندی متفاوت داده‌ها ممکن است به نتایج متفاوتی در شاخص‌هایی مانند «دقت مدل» منجر شود. بنابراین باید مدل برای گروه‌های یادگیری و کنترل متفاوت دیگری اجرا شود و واریانس شاخص‌های عملکردی آن به‌دست آید. از آنجا که معمولاً مشاهدات محدودی در دسترس است، اعتبارسنجی موازی[1] بهترین روش اعتبارسنجی و دسته‌بندی داده‌ها است. اعتبارسنجی kتایی[2]، روشی است که نمونه‌ها را به k زیرمجموعهٔ هم‌اندازه تقسیم می‌کند و یکی از زیرمجموعه‌ها را گروه کنترل و دیگری را گروه یادگیری در نظر می‌گیرد. این کار تا جایی تکرار می‌شود که هر زیرمجموعه یک بار به‌منزلهٔ گروه کنترل و ۱− k بار به‌مثابهٔ گروه یادگیری انتخاب شود (کریمی و صادقی‌مقدم، ۲۰۱۴).

برای تولید بی‌زائده دو راهبرد اصلی وجود دارد. در راهبرد اول می‌توان تابع تمایزی از همهٔ ورودی‌های ماتریس تمایز ایجاد کرد. در این صورت بی‌زائدهٔ حاصل‌شده می‌تواند همهٔ مشاهدات را از یکدیگر و از گروه‌های تصمیم، جدا کند؛ به این بی‌زائده‌ها Full-Reducts می‌گویند. از این راهبرد برای توصیف مشاهدات و یافتن مهم‌ترین مشخصه‌های سیستم اطلاعاتی استفاده می‌شود. در راهبرد دوم، می‌توان برای هر مشاهده بی‌زائده‌هایی به‌دست آورد که امکان تفکیک آن مشاهده از سایر مشاهدات را داشته باشد. به این‌گونه بی‌زائده‌ها Object-Related-

1. Cross validation
2. K-fold cross validation

Reducts گفته می‌شود و برای اهداف پیش‌بینی مناسب‌ترند. همچنین دو رویکرد پژوهشی برای یافتن حداقل تعداد مشخصه‌ها وجود دارد: اولین رویکرد، کاستن پیچیدگی مسئله در شرایطی است که کامل‌بودن الگوریتم حفظ شود و دیگری یافتن سریع‌ترین الگوریتم با محاسبات ساده و بهبود کارایی الگوریتم است، اما در مقابل الگوریتم دیگر کامل نیست. بنابراین می‌توان بهترین «بی‌زائده» یا نزدیک به بهترین «بی‌زائده» را محاسبه کرد. در این پژوهش از دو الگوریتم «ژنتیک»[1] و «جانسون»[2] با دو رویکرد Full و ORR استفاده شده است. برای اطلاع از جزئیات رویکردها و الگوریتم‌ها به گائوجن و یان (۲۰۰۶) مراجعه کنید.

پس از محاسبهٔ بی‌زائده‌ها می‌توان مدل قوانین را به‌دست آورد. برای ارزیابی هر یک از قوانین تولیدشده، از دو شاخص عمومیت قانون[3] و دقت قانون[4] به‌شکل زیر استفاده می‌شود:

$$\text{Coverage} = \frac{\text{تعداد مشاهداتی که هم شرایط «بخش آنگاه» را دارند و هم شرایط «بخش اگر»}}{\text{تعداد کل مشاهدات دارای شرایط «بخش آنگاه»}}$$

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{تعداد مشاهداتی که هم شرایط «بخش آنگاه» را دارند و هم شرایط «بخش اگر»}}{\text{تعداد کل مشاهدات دارای شرایط «بخش اگر»}}$$

به‌منظور انتخاب بهترین مدل قوانین، از ماتریس اعتبارسنجی استفاده می‌شود. در این ماتریس سطرها بیانگر نتایج واقعی‌اند و ستون‌ها نتایج پیش‌بینی را نشان می‌دهند. در این ماتریس دقت کل مدل نشان داده می‌شود و می‌توان بر اساس آن، بهترین مدل را انتخاب کرد.

## نتایج مدل‌سازی

همان‌گونه که گفته شد، در این پژوهش از روش حذف برای تکمیل داده‌های بی‌مقدار استفاده شده است و با بهره‌مندی از دو روش دستی و آنتروپی، داده‌ها گسسته شده‌اند. به‌منظور توصیف رفتار مصرف انرژی کارکنان برای استخراج بی‌زائده‌ها، رویکرد Full همراه با دو الگوریتم ژنتیک و جانسون به‌کار برده شده است. نتایج تولید بی‌زائده به‌کمک نرم‌افزار ROSETTA در جدول ۵ آمده است. در این جدول، ضمن مقایسهٔ بی‌زائده‌های به‌دست‌آمده از ترکیب روش‌های گسسته‌کردن و الگوریتم‌های تولید، مشخصه‌های هر یک از بی‌زائده‌ها نشان داده شده است.

---

1. Genetic Algorithm (GA)
2. Janson algorithm
3. Coverage
4. Accuracy

**جدول ۵. بی‌زائده‌های به‌دست‌آمده از روش‌های مختلف**

| مشخصه | گسسته‌کردن دستی/ الگوریتم ژنتیک | | | | | | | | آنتروپی/ ژنتیک | | دستی/ جانسون | آنتروپی/ جانسون | درصد |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | |
| جنسیت | | • | • | • | | • | • | • | • | | • | • | ۷۵ |
| سن | | | | | | | | | | | | | ۰ |
| سابقه | | • | • | • | • | • | • | | • | • | • | • | ۸۳ |
| تحصیلات | • | | • | • | | | • | | | • | • | • | ۵۸ |
| نوع استخدام | • | • | | | | | | • | • | • | | | ۴۲ |
| نگرش به محیط زیست | | • | • | | • | • | | • | • | • | • | • | ۷۵ |
| مذهب | • | | | • | • | • | | • | • | • | | | ۵۸ |
| شهروند | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | ۱۰۰ |
| مسئولیت انرژی | • | • | • | • | • | • | • | • | | | • | • | ۸۳ |
| تعهد سازمانی | | | | | • | | • | • | • | • | | • | ۵۰ |
| رضایتمندی | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | ۱۰۰ |
| نگاه به رفتار | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | ۱۰۰ |
| کنترل روشنایی | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • | ۱۰۰ |

با توجه به اطلاعات درج‌شده در جدول ۵ مشاهده می‌شود در هر دو ستون اطلاعاتی (گسسته‌سازی دستی و آنتروپی)، مجموعهٔ هستهٔ سیستم اطلاعاتی به شکل زیر است:

$$Core = \{\text{شهروندسازمانی، رضایتمندی، نوع نگاه به رفتار، امکان کنترل روشنایی}\}$$

به بیان دیگر چهار مشخصهٔ فوق، اصلی‌ترین مشخصه‌های موقعیتی هستند و بیشترین اثر را بر رفتار مصرف انرژی کارکنان دارند و برای پیش‌بینی رفتار ضروری‌اند. از سویی با توجه به جدول ۵ می‌توان گفت مشخصهٔ سن، مشخصهٔ زائد است و هیچ تأثیری در توصیف یا پیش‌بینی رفتار کارکنان ندارد. در روش جانسون نیز مشخصهٔ سن در مجموعهٔ بی‌زائده تأثیری نداشته است و چهار مشخصهٔ مذکور همچنان در مجموعهٔ بی‌زائده قرار دارند.

برای دو سیستم اطلاعاتی گسسته‌شده، بی‌زائده‌ها بر اساس دو راهبرد ORR و Full و به دو روش ژنتیک و جانسون استخراج شدند و مدل قوانین برای هر یک ساخته شد. در جدول ۶ تعداد قوانین هر روش مشاهده می‌شود.

**جدول ٦. تعداد قوانین**

| شمارهٔ مدل | گسسته‌کردن | الگوریتم بی‌زائده | راهبرد بی‌زائده | تعداد قوانین |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | دستی | ژنتیک | FULL | ۳۶۶۴ |
| ۲ | دستی | ژنتیک | ORR | ۱۴۹۶۶ |
| ۳ | دستی | جانسون | FULL | ۳۶۶ |
| ۴ | دستی | جانسون | ORR | ۳۱۵ |
| ۵ | آنتروپی | ژنتیک | FULL | ۷۳۷ |
| ۶ | آنتروپی | ژنتیک | ORR | ۱۲۴۲۷ |
| ۷ | آنتروپی | جانسون | FULL | ۳۶۹ |
| ۸ | آنتروپی | جانسون | ORR | ۳۲۱ |
| ۹ | دستی | دستی | – | ۱۷۹ |

جدول ۷، یکی از قوانین هر مدل را با بیشترین عمومیت و دقت برای نمونه به نمایش گذاشته است. علاوه‌بر هشت مدلی که از ترکیب راهبردها به‌دست آمد، به‌کمک چهار مشخصهٔ مجموعهٔ هسته، یک مدل قوانین به‌منظور بررسی قدرت این چهار مشخصه برای پیش‌بینی رفتار ساخته شد. در جدول ۷ قانون ایجادشده برای مدل نهم راف است؛ به این معنا که برای مشاهداتی که مقدار مشخصه‌های موقعیتی برابر دارند، مقدار مشخصهٔ تصمیم متفاوت است و قطعیت ندارد؛ لذا به ازای هر یک از حالت‌های متغیر تصمیم، یک شاخص عمومیت و یک شاخص دقت توسط نرم‌افزار محاسبه شده است. برای اطلاع از استنتاج قوانین راف به آبراهم و فالکوم (۲۰۰۹) رجوع کنید. به منظور مقایسهٔ نُه مدل به‌دست‌آمده، باید اعتبار هر یک از مدل‌ها در پیش‌بینی مشخصهٔ تصمیم بررسی شود. به این منظور از اعتبارسنجی موازی استفاده شده است. برای اعتبارسنجی موازی در نرم‌افزار ROSETTA، الگوریتم‌هایی که در هر تکرار استفاده می‌شود به‌صورت اسکریپت‌های متنی نوشته می‌شوند و ورودی نرم‌افزار را شکل می‌دهند و بر اساس آن اعتبارسنجی انجام می‌شود. برای اعتبارسنجی موازی در این پژوهش، پنج تکرار در نظر گرفته شده است. در هر تکرار فرایند اعتبارسنجی، جدول متقابلی ارائه شده است؛ سطرهای این جدول معرف مقادیر واقعی مشخصهٔ تصمیم و ستون‌ها معرف مقادیر پیش‌بینی‌شدهٔ قوانین هستند. خانهٔ آخر این ماتریس دقت قوانین در آن تکرار را نشان می‌دهد. در اعتبارسنجی موازی، متوسط دقت در k تکرار و حداقل و حداکثر دقت، نتایج اعتبارسنجی محسوب می‌شوند.

**جدول ۷. قانون اول هریک از مدل‌ها**

| شمارهٔ مدل | عمومیت | دقت | قانون | |
|---|---|---|---|---|
| | | | بخش اگر | بخش آنگاه |
| ۱ | ۰/۳۳ | ۱ | = و (۳)= مذهب و (۲)= نگرش و [۵ ,*] = سابقه = و (۳)=رضایت و (۳)= تعهد و (۴)=مسئولیت و (۴)شهروندی (متوسط)و =کنترل روشنایی (۴)نگاه به رفتار | (هرگز)=رفتار روشنایی |
| ۲ | ۰/۳۳ | ۱ | و (۳)=تعهد و (۴) = مسئولیت (۴)=شهروند و (مرد)=جنسیت (متوسط)و =کنترل روشنایی (۳)=رضایت | (هرگز)=رفتار روشنایی |
| ۳ | ۰/۱۶ | ۱ | و (لیسانس)=تحصیلات و [۵ ,*] =سابقه و (زن)=جنسیت و (۴)=رضایت و (۵)=مسئولیت و (۴)=شهروند و (۴)=نگرش (زیاد)و =کنترل روشنایی (۴)=نگاه به رفتار | (هرگز)=رفتار روشنایی |
| ۴ | ۰/۳۳ | ۱ | (۵)=رضایت و (۲)=تعهد | (هرگز)=رفتار روشنایی |
| ۵ | ۰/۳۳ | ۱ | و (۳)=مذهب و (۲)=نگرش و (پیمانکاری)=استخدام و [۴ ,*] =تعهد و [۴, ۵] =مسئولیت و (۴)=شهروند (متوسط)=کنترل روشنایی و (۴)و =نگاه به رفتار (۳)=رضایت | (هرگز)=رفتار روشنایی |
| ۶ | ۰/۳۳ | ۱ | = و (۲) =نگرش و [۱۸ ,*] =سابقه و (مرد)=جنسیت (۳)=رضایت و [۴, ۵] مسئولیت | (هرگز)=رفتار روشنایی |
| ۷ | ۰/۳۳ | ۱ | و (۳)=مذهب و (۲)=نگرش و (پیمانکاری)=استخدام و [۴ ,*] =تعهد و [۴, ۵] =مسئولیت و (۴)=شهروند =کنترل و (۴.۰)=نگاه به رفتار و (۳)=رضایت (متوسط)روشنایی | (هرگز)=رفتار روشنایی |
| ۸ | ۰/۳۳ | ۱ | =نگاه به و [۴, ۵] =مسئولیت و (۲)=نگرش و (مرد)=جنسیت (۴.۰)رفتار | (هرگز)=رفتار روشنایی |
| ۹ | ۰/۳۳<br>۰/۰۲<br>۰/۰۵ | ۰/۲۵<br>۰/۶۲<br>۰/۱۲ | و =کنترل (۴/۰)=نگاه به رفتار و (۳)=رضایت و (۴)=شهروند (متوسط)روشنایی | یا (هرگز) = رفتار روشنایی<br>یا (به‌ندرت) = رفتار روشنایی<br>(همیشه) = رفتار روشنایی |

در جدول ۸ نمونه‌ای از ۴۵ جدول متقابل به‌دست‌آمده، نشان داده شده است. این جدول تکرار اول اعتبارسنجی موازی مدل قوانین دوم را نشان می‌دهد.

**جدول ۸. نمونهٔ جدول متقابل**

| | | مقادیر پیش‌بینی مشخصهٔ تصمیم | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | هرگز | به‌ندرت | گاهی | معمولاً | همیشه | دقت |
| مقادیر واقعی مشخصه تصمیم | هرگز | ۵۶ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۹۸/۲۴ |
| | به‌ندرت | ۲ | ۱ | ۲ | ۰ | ۰ | ۲۰ |
| | گاهی | ۴ | ۰ | ۲ | ۰ | ۰ | ۳۳ |
| | معمولاً | ۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| | همیشه | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۱۰۰ |
| | دقت | ۸۳/۵۸ | ۱۰۰ | ۴۰ | – | ۱۰۰ | ۸۱ |

خلاصهٔ نتایج اعتبارسنجی موازی در جدول ۹ درج شده است. برای مطالعهٔ بیشتر دربارهٔ الگوریتم اعتبارسنجی موازی، به کریمی و صادقی‌مقدم (۲۰۱۴) رجوع کنید.

**جدول ۹. نتیجهٔ اعتبارسنجی موازی قوانین**

| مدل | گسسته‌کردن | الگوریتم بی‌زائده | راهبرد بی‌زائده | تعداد قوانین | حداقل دقت | حداکثر دقت | متوسط دقت |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | دستی | ژنتیک | FULL | ۳۶۶۴ | ۳۲/۶۳ | ۴۴/۸۶ | ۳۸/۹۰ |
| ۲ | دستی | ژنتیک | ORR | ۱۴۹۶۶ | ۷۳/۲۴ | ۸۸/۱۰ | ۸۱/۹۱ |
| ۳ | دستی | جانسون | FULL | ۳۶۶ | ۳۰/۲ | ۳۵/۴ | ۳۲/۷ |
| ۴ | دستی | جانسون | ORR | ۳۱۵ | ۶۶/۴۸ | ۷۵/۹۴ | ۷۱/۱۳ |
| ۵ | آنتروپی | ژنتیک | FULL | ۷۳۷ | ۳۰/۱ | ۳۸/۱ | ۳۲/۹۷ |
| ۶ | آنتروپی | ژنتیک | ORR | ۱۲۴۲۷ | ۷۷/۲۹ | ۸۵/۷۰ | ۸۰/۲۶ |
| ۷ | آنتروپی | جانسون | FULL | ۳۶۹ | ۳۱/۴۰ | ۳۵/۴۰ | ۳۱/۳۵ |
| ۸ | آنتروپی | جانسون | ORR | ۳۲۱ | ۶۲/۴۳ | ۷۴/۷۳ | ۶۷/۸۶ |
| ۹ | دستی | دستی | – | ۱۷۹ | ۴۹/۷۳ | ۶۳/۷۸ | ۵۷/۱۹ |

همان‌گونه که در جدول ۹ مشاهده می‌شود، از بین نُه مدل تولیدشده، بیشترین دقت پیش‌بینی به مدل دوم اختصاص دارد که گسسته‌سازی داده‌های سن و سابقه در این مدل را

خبرگان انجام داده‌اند و تولید بی‌زائده، به‌روش ORR و با تکنیک GA صورت گرفته است. همان‌طور که در جدول دیده می‌شود، تعداد قوانین تولیدشده در این مدل بیشتر از سایر مدل‌ها است. همچنین تمام مدل‌هایی که گسسته‌سازی آنها به‌روش آنتروپی انجام‌شده، نسبت به مدل‌هایی که با نظر خبرگان گسسته شده‌اند، دقت کمتری را نشان می‌دهند.

با مقایسهٔ نتایج اعتبارسنجی مدل‌های مختلف، می‌توان مشاهده کرد که در شرایط یکسان، دقت قوانین در مدل‌هایی که از الگوریتم ژنتیک برای تولید بی‌زائده استفاده کرده‌اند نسبت به مدل‌هایی که از الگوریتم جانسون استفاده کرده‌اند، بالاتر است. همچنین راهبرد ORR برای تولید بی‌زائده، قوانین بیشتری تولید کرد و دقت مدل برای پیش‌بینی مشاهدات جدید در این مدل‌ها نسبت به راهبرد Full افزایش یافت.

با توجه به اعتبارسنجی مدل نهم مشاهده می‌شود به‌کمک قوانین به‌دست‌آمده از چهار مشخصهٔ شناسایی‌شده به‌منزلهٔ هستهٔ سیستم اطلاعاتی، می‌توان با تعداد قوانین کم و با دقت ۵۷ درصد، رفتار مصرف انرژی کارکنان را پیش‌بینی کرد.

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

فعالیت‌های ساکنان هر ساختمان را می‌توان نتیجهٔ نیازهای روانی یا هنجارهای اجتماعی ـ فرهنگی یا ترکیبی از این عوامل دانست که رفتار هر انسان را شکل می‌دهد. هدف اصلی این مقاله، ارائهٔ روشی جدید برای مطالعهٔ رفتار مصرف انرژی کارکنان شاغل در ساختمان است و قصد دارد ضمن شناسایی پتانسیل‌های صرفه‌جویی حاصل از بهبود رفتار کارکنان، دیدی عمیق و جامع نسبت به الگوهای مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری ایجاد کند. به این منظور از تئوری راف برای تحلیل داده‌ها و استخراج مدل قوانین استفاده شد.

در این پژوهش تأثیر عوامل روان‌شناختی، سازمانی و زمینه‌ای، بر رفتار مصرف انرژی کارکنان در سازمان بررسی شد. نتایج نشان داد چهار مشخصهٔ موقعیتی بیشترین اثر را بر رفتار مصرفی کارکنان می‌گذارند. میزان رضایتمندی کارکنان و نوع نگاه آنها به رفتارهای مصرفی و علاوه‌بر آن، امکان کنترل روشنایی توسط کارکنان (با توجه به وضعیت فیزیکی ساختمان)، از جملهٔ این مشخصه‌ها است. آخرین مشخصهٔ اثرگذار، رفتار شهروند سازمانی کارکنان است. منظور از شهروند سازمانی، اندازه‌ای است که کارکنان، سازمان را متعلق به خود می‌دانند و ارزش‌هایی همسو با سازمانشان دارند.

با توجه به اینکه در هر یک از مراحل مدل‌سازی راف، روش‌های گوناگونی استفاده می‌شود، در این پژوهش نُه مدل استخراج شد. به‌دلیل تعداد زیاد مشاهدات، برای تکمیل داده‌ها از روش

حذف داده‌های بی‌مقدار استفاده شد و گسسته‌کردن داده‌ها به دو روش آنتروپی و نظر خبرگان انجام گرفت. به‌منظور تولید بی‌زائده، دو الگوریتم ژنتیک و جانسون با دو رویکرد ORR و Full به‌کار گرفته شد. علاوه‌براین، چهار مشخصهٔ هسته به‌منزلهٔ بی‌زائده انتخاب شد و یک مدل قانون بر اساس آن به‌دست آمد. نتایج اعتبارسنجی مدل‌ها نشان داد گسسته‌کردن داده‌های دو مشخصهٔ سن و سابقه با نظر خبرگان و استفاده از الگوریتم ژنتیک به‌صورت ORR برای تولید بی‌زائده، دقتی حدود ۸۰ درصد دارد و از سایر مدل‌ها دقیق‌تر است. ضعیف‌ترین مدل، گسسته‌سازی به‌روش آنتروپی و تولید بی‌زائده با استفاده از الگوریتم جانسون به‌صورت Full است که دقتی حدود ۳۱ درصد دارد. مدل به‌دست‌آمده از چهار مشخصهٔ هسته نیز با کمترین تعداد قانون نسبت به سایر مدل‌ها، دقتی حدود ۵۷ را نشان داد؛ این بدان معناست که قوانین به‌دست‌آمده از این چهار مشخصه از عمومیت و دقت زیادی برخوردارند.

اگرچه RST ابزار محاسباتی جدید و قدرتمندی برای برخورد با وضعیت مبهم و عدم قطعیت معرفی شده است، به‌دلیل استفادهٔ محدود در رشته‌هایی مانند کامپیوتر و ریاضیات، در سایر علوم نیز چندان به‌کار گرفته نشده است و این پژوهش می‌تواند به‌مثابهٔ منبعی مناسب برای شناخت اصول این تئوری و چگونگی به‌کارگیری آن در حوزهٔ رفتار مصرف انرژی، استفاده شود.

## قدردانی و تشکر

این مقاله از طرح پسادکتری به شمارهٔ ۹۲۰۱۹۰۶۶ استخراج شده است و صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) پشتیبان مالی آن طرح بوده است.

## *References*

Abraham, A., Falcon, R. & Bello, R. (2009). *Rough Set Theory: A True Landmark in Data Analysis*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Abrahamse, W., Steg, L., Vlek, C., Rothengatter, T. (2005). A review of intervention studies aimed at household energy conservation. *Journal of Environmental Psychology,* 25(3): 273–291.

Aydinalp-Koksal, M., Ugursal, V.I. (2008). Comparison of neural network, conditional demand analysis, and engineering approaches for modeling end-use energy consumption in the residential sector. *Applied Energy*, (85): 271–296.

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):1425–1444.

Clarke, E.J. & Barton, B.A. (2000). Entropy and MDL Discretization of Continuous Variables for Bayesian Belief Networks. *International Journal of Intelligent systems*, 15 (1): 61-92.

Faiers, A., Cook, M. & Neame, C. (2007). Towards a contemporary approach for understanding consumer behaviour in the context of domestic energy use. *Energy Policy*, (35): 4381-4390.

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): 203-219.

Funches, V., Markley, M. & Davis, L. (2009). Reprisal, retribution and requital: Investigating customer retaliation. *Journal of Business Research*, (62): 231–238.

Gaojun, L. & Yan, Z. (2006). Credit Assessment of Contractors: A Rough Set Method, *Tsinghua Science and Technology*, 11 (3): 357-362.

Goldschmidt, N. & Chung, B.G. (2001). Size does matter: the effect of organizational size on customer satisfaction. *Journal of Quality Management*, 6 (1): 47–60.

Grzymala-Busse, J.W. & Stefanowski, J. (2001). Three Discretization Methods for Rule Induction, *International Journal of Intelligent systems*, 16 (1): 29-38.

Gyberg, P. & Palm, J. (2009). Influencing households' energy behaviour—how is this done and on what premises? *Energy Policy*,(37): 2807–2813.

Haas, R., Auer, H. & Biermayr, P. (1998). The impact of consumer behavior on residential energy demand for space heating. *Energy and Buildings*, (27): 195-205.

Henryson, J., Hakansson, T. & Pyrko, J. (2000). Energy efficiency in buildings through information – Swedish perspective. *Energy Policy*, (28): 169-180.

Hitchcock, G. (1993). An integrated framework for energy use and behaviour in the domestic sector. *Energy and Buildings*, 20 (2): 151-157.

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

Karimi, T. & Sadeghi Moghadam, M. (2014). *Rough Set and Grey Set Theory: principles, applications and software's*, First edition, Tehran: Mehraban Nashr. (*in Persian*)

Linden, A.L, Carlsson-Kanyama, A. & Eriksson, B. (2006). Efficient and inefficient aspects of residential energy behavior: What are the policy instruments for change? *Energy Policy*, (34): 1918-1927.

Lingyun, M., Rui, N., Hualong, L. & Xiaohua, L. (2011). Empirical Research of Social Norms Affecting Urban Residents Low Carbon Energy Consumption Behavior. *Energy Procedia*, (5): 229–234.

Ludl, M.C. & Widmer, G. (2000). Relative Unsupervised Discretization for Association Rule Mining. *Fourth European Conf. Principles of Data Mining and Knowledge Discovery* (PKDD), pp. 148-158.

McCalley, L.T. & Midden, J.H. (2002). Energy conservation through product-integrated feedback: The roles of goal-setting and social orientation. *Journal of Economic Psychology*, (23): 589–603.

Papakostas, K.T. & Sotiropoulos, B.A. (1997). Occupational and energy behaviour patterns in Greek residences. *Energy and Buildings*, (26): 207-213.

Starr, M.A. (2009). The social economics of ethical consumption: Theoretical considerations and empirical evidence. *The Journal of Socio-Economics* (38): 916–925.

Starzyk, J. A., Nelson, D. E. & Sturtz, K. (2000). A Mathematical Foundation for Improved Reduct Generation in Information Systems. *Journal of Knowledge and Information Systems*, 2 (2):131-146.

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.

Yan, S. & Lifang, F. (2011). Influence of psychological, family and contextual factors on residential energy use behaviour: An empirical study of China. *Energy Procedia*, (5): 910–915.

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): 1409-1417.

Zhong, N., Dong, J. & Ohsuga, S. (2001). Using Rough Sets with Heuristics for Feature Selection. *Journal of Intelligent Information Systems*, 16 (3): 199-214.