

## تحلیل الگوی مصرف انرژی برق در خانه هوشمند با استفاده از سلسله مراتب زمانی

سروش امیدوار طهرانی<sup>۱\*</sup>، حدیثه مرادی ثانی<sup>۲</sup>، بهشید بهکمال<sup>۳</sup> و هاله امین طوسی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر دانشگاه فردوسی مشهد، [omidvar@mail.um.ac.ir](mailto:omidvar@mail.um.ac.ir)

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر دانشگاه فردوسی مشهد، [hadise.moradisani@mail.um.ac.ir](mailto:hadise.moradisani@mail.um.ac.ir)

<sup>۳</sup> استادیار گروه کامپیوتر دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، [behkamal@um.ac.ir](mailto:behkamal@um.ac.ir)

<sup>۴</sup> استادیار گروه کامپیوتر دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، [amintoosi@um.ac.ir](mailto:amintoosi@um.ac.ir)

**چکیده:** شناخت الگوی مصرف، نقشی کلیدی در مدیریت آن ایفا می‌کند و تجزیه و تحلیل رفتار دستگاه‌ها تاثیر به‌سزایی در این بخش دارد. مصرف خانگی، سهم زیادی از برق تولیدی را به خود اختصاص داده و تشخیص الگوی مصرفی کاربر، به پیش‌بینی و مدیریت آن کمک شایانی می‌کند. در این مقاله، شباهت مصرف دستگاه‌های برقی خانگی در یک خانه هوشمند از دیدگاه‌های زمانی مختلف مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. هدف از این بررسی، شناسایی روابط بین مصرف دستگاه‌های مختلف و الگوی استفاده از آن‌ها است و این فرآیند در نهایت به کشف الگوهای معنادار و دقیق بین مصرف دستگاه‌های مختلف منجر شده است.

**کلید واژه‌ها:** الگوی مصرف انرژی، اینترنت اشیا، خانه هوشمند، سلسله‌مراتب زمانی

دوره‌های زمانی مشخص هستند؛ استفاده می‌کنند. با ظهور فناوری‌های مربوط به حوزه کلان‌داده، توانایی تحلیل و پردازش این حجم عظیم از جریان داده‌ها فراهم گشته است و می‌توان بر اساس نتایج به دست آمده از روی داده‌ها، تصمیمات عملیاتی راجع به نحوه مصرف انرژی و مدیریت آن اتخاذ نمود. این تصمیمات برای شرکت‌های ارائه دهنده برق که همواره به دنبال راهکارهایی جهت پیش‌بینی الگوی مصرف انرژی، پیش‌بینی تقاضا، کاهش هزینه، بهینه‌سازی مصرف انرژی و غیره بوده‌اند؛ بسیار حائز اهمیت است و اهداف خود را در قالب برنامه‌هایی مانند: مدیریت سمت تقاضا، سیستم‌های پاسخ به تقاضا، سیستم‌های مدیریت مصرف انرژی و غیره دنبال می‌کنند [۳]. چالشی که در این برنامه‌ها وجود دارد این است که با درک عادات مصرف‌کنندگان و در نظر داشتن میزان راحتی آنان بتوان با ارائه راهکارهایی در زمینه مصرف انرژی خانگی، طرح‌های صرفه‌جویی در انرژی را پیاده‌سازی نمود.

عمده کارهای انجام شده در حوزه نظارت بر مصرف انرژی از الگوریتم‌های خوشه‌بندی، تحلیل داده‌ها و وابستگی بین آن‌ها استفاده نموده‌اند [۴-۷]، اما در مطالعات انجام شده توجه کمتری به بازه‌های زمانی، تحت عنوان عامل موثر بر الگوی مصرف انرژی شده است.

در این مقاله با در نظر گرفتن فاکتور زمان، به بررسی میزان برق مصرفی دستگاه‌های خانگی، ارتباط و الگوهای استفاده آن‌ها در یک مجموعه داده نمونه مربوط به یک خانه هوشمند می‌پردازیم. ابتدا داده‌های این مجموعه داده مورد پیش پردازش قرار خواهند گرفت و سپس در ادامه، نشان خواهیم داد که اگر با دیدگاه سلسله‌مراتب زمانی و با سطح دانه‌بندی‌های متفاوتی در زمان

### ۱- مقدمه

در عصر حاضر، با افزایش جمعیت و روند رو به رشد ساختمان‌سازی و شهرنشینی، میزان تقاضا برای استفاده از انرژی افزایش چشمگیری داشته و از این رو برنامه‌هایی جهت مدیریت انرژی، استفاده از آن و ذخیره انرژی مورد توجه بخش‌های مختلف قرار گرفته است. برنامه‌های مدیریت انرژی نیازمند نظارت بر انرژی مصرف شده در دستگاه‌های برقی خانگی توسط ساکنین خانه به صورت بلادرنگ می‌باشند [۱].

طبق گزارشات انجام شده حدود ۴۰ درصد از مصرف برق جهان در ساختمان‌های مسکونی صورت می‌گیرد. با توجه به این که رفتار مصرف‌کنندگان انرژی برق به عوامل زیادی از جمله دمای هوا، فصل، روز هفته، ساعت و غیره وابسته است؛ جهت اصلاح آن باید با در نظر گرفتن این عوامل بازخوردهای درستی، به کاربران داده شود. بنابراین تحلیل و پردازش این عوامل و تعیین اثرگذاری آنان بر روی مصرف انرژی نقش مهمی را در این فرآیند ایفا می‌کند [۲]. از سوی دیگر مدیریت انرژی به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای که در فرآیند تولید انرژی برق ایجاد می‌شوند و اثرات محیط زیستی این گازها، به یک مسئله مورد توجه در سطح جهانی تبدیل شده است.

پس از ایجاد بستر شبکه هوشمند برق و استقرار اندازه‌گیرهای هوشمند در منازل مسکونی، اطلاعات میزان و نحوه مصرف انرژی در این منازل در دسترس محققان قرار گرفته است. بسیاری از راه‌حل‌های ارائه شده در حوزه مدیریت انرژی، از این داده‌ها که نمایانگر میزان مصرف انرژی برق توسط دستگاه‌های خانگی در

قرار می‌دهد و این تحقیق بر روی داده‌های کشور لهستان انجام شده است. البته این تحقیق مدت زمان استفاده از دستگاه‌ها برقی خانگی و توالی موجود در استفاده از آن‌ها را که کاملاً به ویژگی‌های رفتاری کاربر مرتبط است، در نظر نمی‌گیرد. کار انجام شده توسط مراجع [۱۱، ۱۲] نیز منجر به استخراج الگوی توالی در مصرف دستگاه برقی خانگی شده است که باعث ذخیره انرژی می‌گردد. مرجع [۶] از روش خوشه‌بندی k-means جهت تحلیل الگوهای مصرف انرژی برق در خانه‌ها استفاده کرده است. در مرجع [۷] از خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی، تحلیل وابستگی‌ها، درخت تصمیم و ماشین بردار پشتیبان<sup>۲</sup> جهت پیش‌بینی کوتاه‌مدت مصرف انرژی استفاده شده است اما رفتارهای متفاوت ساکنین خانه در این مطالعه لحاظ نشده است.

از جمله مقالاتی که پیش‌بینی رفتار کاربران در مصرف انرژی را مورد بررسی قرار داده‌اند؛ می‌توان به مرجع [۱۳] که در آن از شبکه بیضوی جهت پیش‌بینی رفتار ساکنان خانه در استفاده از یک دستگاه برقی خانگی استفاده شده است؛ اشاره نمود. همچنین در برخی از مطالعات مانند مرجع [۱۴] تحلیل مصرف با در نظر گرفتن ویژگی‌های محیطی و ساختاری موجود در رفتار ساکنین خانه مانند تنظیمات موجود در دستگاه ترموستات یا خریداری وسایل برقی خانگی کم‌مصرف انجام می‌شود. مراجع [۲، ۳] حمایت از طرح‌های بهره‌برداری از اطلاعات مصرف، جهت تشویق و کسب بهره‌وری موثر انرژی را بررسی کرده‌اند.

برخی از کارهای انجام شده در دسته سوم بدین شرح می‌باشند. رویکرد پیشنهاد شده در مرجع [۱۵، ۱۶] یک طبقه‌بند چندبرچسب در داده‌های زمانی<sup>۳</sup> جهت ایجاد درخت تصمیم با توجه به همبستگی بین دستگاه‌های برقی خانگی می‌باشد که جهت پیش‌بینی استفاده از این دستگاه‌ها در ۲۴ ساعت آینده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مطالعه انجام شده در مرجع [۱۷] رویکرد مبتنی بر استخراج قوانین، جهت شناسایی ارتباط بین مصرف انرژی و زمان استفاده در دستگاه‌های برقی چندین خانه در آمریکا بررسی شده است که این رویکرد در حفاظت از انرژی، مدیریت پاسخ به تقاضا<sup>۴</sup> و تشخیص رفتارهای ناهنجار مفید خواهد بود. در روش ارائه شده در مرجع [۴] می‌توان به طور موثر الگوی مصرفی دستگاه‌های برقی را در بازه‌های ساعتی در طول روز مشخص نمود و به این طریق مجموعه دستگاه‌های برقی که به یکدیگر وابستگی

داده‌ها را مورد بررسی قرار دهیم؛ به الگوهای دقیق‌تر و بعضاً متمایز دست خواهیم یافت.

ساختار مقاله به شرح زیر می‌باشد: در بخش دوم به مرور کارهای مشابه می‌پردازیم؛ سپس در بخش سوم به معرفی دقیق‌تر مجموعه داده و پیش‌پردازش‌های صورت گرفته بر روی آن و همچنین ارائه الگوی مصرف انرژی با رویکرد سلسله‌مراتب زمانی خواهیم پرداخت. در بخش پایانی نیز جمع‌بندی بر موارد گفته شده و نتایج گرفته شده خواهیم داشت.

## ۲- مروری بر کارهای گذشته

کارهایی که در حوزه نظارت بر بار مصرفی انجام شده‌اند را می‌توان به دسته‌های مختلفی تقسیم‌بندی کرد. دسته اول به دنبال یافتن الگوی مصرف انرژی برق خانگی در دوره‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و یا بلندمدت هستند. دسته دوم به دنبال پیش‌بینی رفتار ساکنین منازل و حتی ایجاد تغییر در رفتار آنان می‌باشند و دسته سوم با بررسی میزان شباهت مصرف دستگاه‌های برقی خانگی به دنبال یافتن یک مجموعه دستگاه برقی هستند که در مصرف انرژی با هم مرتبط باشند. در ادامه این بخش به بررسی کارهای انجام شده در هر یک از این دسته‌ها خواهیم پرداخت.

از جمله مطالعاتی که با هدف یافتن الگوی مصرف انرژی برق خانگی هستند می‌توان به موارد پیش‌رو اشاره نمود. در مرجع [۸] داده‌های دوره‌ای مربوط به مصرف انرژی در کانادا مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند تا بتوان الگوهای مختلف مصرف انرژی کاربران را پیش‌بینی نمود. در این تحقیق الگوهای مصرف انرژی خانوار پیش‌بینی شده است و از نتایج به دست آمده از آن برای پیش‌بینی میزان مصرف انرژی در آینده و صرفه‌جویی در مصرف انرژی شبکه‌های هوشمند برق استفاده شده است. این الگوهای به دست آمده نه تنها برای ارائه طرح‌های ذخیره انرژی به سمت مصرف‌کننده بلکه جهت ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضا در سمت تولیدکننده انرژی برق نیز کارا هستند. در مراجع [۹، ۱۰] تاثیرات ناشی از ایجاد تغییر در رفتار کاربران در ذخیره انرژی بررسی شده است. در مرجع [۵] نیز روشی برای به دست آوردن الگوی مصرف با استفاده از خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی<sup>۱</sup> و c-means، مقیاس‌پذیری چند بعدی، تحلیل داده‌ها و استخراج قوانین وابستگی ارائه شده است که در آن خاموش یا روشن بودن دستگاه‌های برقی را مدنظر

<sup>1</sup> Hierarchical clustering

<sup>2</sup> Support Vector Machine (SVM)

<sup>3</sup> Time-Series Multi-Label Classifier

<sup>4</sup> Demand response management



## سومین کنفرانس بین المللی اینترنت اشیا و کاربردها

فروردین ۱۳۹۸ - دانشگاه اصفهان

در نهایت الگوی مصرف انرژی در سطوح مختلف سلسله مراتب زمانی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

### ۱-۳ معرفی مجموعه داده

مجموعه داده مورد استفاده در این مقاله [۱۹]، میزان مصرف انرژی (برق، آب و گاز) یک خانه در کانادا (متشکل از سه قسمت: سوئیت اجاره‌ای، گاراژ و بخش اصلی) را برای دو سال (از ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۴) اندازه‌گیری کرده است. اطلاعات مصرف دستگاه‌های برقی که در این مقاله بررسی می‌شود؛ با فاصله زمانی یک دقیقه و به تفکیک بخش‌های خانه و دستگاه‌های آن توسط ۲۳ حسگر محاسبه شده، که در مجموع هر حسگر ۱۰۵۱۲۰۰ رکورد را اندازه‌گیری کرده است. در این مجموعه داده، هر حسگر مصرف برق با یک نام سه حرفی مشخص شده که نشان‌دهنده دستگاه و یا بخشی از خانه است که مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. نام کامل حسگرها و نحوه ارتباط آن‌ها در شکل ۱ آورده شده است. در این شکل حسگرهای نشان‌داده شده با رنگ نارنجی، مصرف برق را به صورت مسقیم اندازه‌گیری نکرده‌اند و مقادیر آن‌ها براساس میزان مصرف سایر بخش‌ها به دست می‌آید. نحوه محاسبه مقادیر این دو حسگر در فرمول‌های ۱ و ۲ آمده است.

$$UNE = MHE - \text{sum}(\text{submeters under MHE}) \quad (1)$$

$$MHE = WHE - (RSE + GRE) \quad (2)$$

حسگرهای برقی این خانه خصیصه‌های زیر را در هر دقیقه محاسبه کرده‌اند: ولتاژ، جریان، فرکانس، ضریب توان ظاهری<sup>۲</sup>، ضریب توان جابه‌جایی<sup>۱</sup> و توان‌های حقیقی، موهومی<sup>۵</sup> و ظاهری<sup>۶</sup>. توان مختلط<sup>۷</sup> (S) عبارت است از مجموع بردارهای توان حقیقی (P) و توان موهومی (Q) که اندازه آن، توان ظاهری را نشان می‌دهد. فرمول ۳ که در آن z یک موهومی است این رابطه را بیان می‌کند.

$$S = P + jQ \quad (3)$$

خصیصه اصلی مورد نیاز برای کشف ارتباط دستگاه‌های برقی و الگوهای استفاده از آن‌ها توان حقیقی بوده که در ادامه این ویژگی مورد استفاده قرار گرفته است.

داشته و هم‌زمان مورد استفاده قرار می‌گیرند را شناسایی کرد که این مطالعه بر روی داده‌های خانگی آمریکا و کانادا انجام گرفته است. چارچوب مطرح شده در مرجع [۴] نشان می‌دهد که با اضافه کردن اطلاعات زمینه‌ای (مانند فصل سال) میزان دقت در شناسایی دستگاه‌های برقی افزایش می‌یابد.

به طور کلی مصرف انرژی کاربران، با اهداف متفاوتی مورد بررسی قرار می‌گیرد و هریک از این مقالات از روش‌های متنوعی جهت توصیف نحوه مصرف انرژی استفاده می‌کنند. در کارهای فوق تاثیر سلسله‌مراتب زمانی در تحلیل الگوی مصرف مدنظر قرار نگرفته است. رویکرد پیشنهادی ما نقش این مفهوم را در تعیین الگوی مصرف انرژی نشان می‌دهد.

### ۳- رویکرد پیشنهادی

در این مقاله تحلیل الگوی مصرف انرژی خانگی با در نظر گرفتن دیدگاه سلسله‌مراتب زمانی انجام شده است. روش‌های متعددی برای ایجاد سلسله‌مراتب مفاهیم در داده‌های عددی<sup>۱</sup> و دسته‌ای<sup>۲</sup> وجود دارد [۱۸]. با توجه به این که داده‌های حسگرها، در بازه‌های زمانی مشخص جمع‌آوری می‌شود، در اکثر داده‌های جمع‌آوری شده در خانه هوشمند، زمان به صورت گسسته ذخیره می‌شود. سه روش برای تولید سلسله‌مراتب مفاهیم وجود دارد:

(۱) با استفاده از ارتباط معنایی بین ویژگی‌ها، (۲) براساس تعداد مقادیر متمایز ویژگی‌ها و (۳) استخراج ساختار بین مفاهیم توسط افراد خبره. در این پژوهش، از روش اول برای استخراج سلسله‌مراتب زمانی استفاده شده است.

با توجه به ارسال اطلاعات توسط حسگرها در واحد مشخصی از زمان، یک ساختار سلسله‌مراتبی زمانی کامل به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{ثانیه} < \text{دقیقه} < \text{ساعت} < \text{روز} < \text{هفته} < \text{ماه} < \text{فصل} < \text{سال}$$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود؛ بین سطوح مختلف این ساختار ارتباط معنایی وجود دارد.

در ادامه این بخش، ابتدا مجموعه داده معرفی می‌شود. سپس پیش‌پردازش‌های انجام شده برای آماده‌سازی داده‌ها ارائه شده و

<sup>1</sup> Numeric

<sup>2</sup> Nominal

<sup>3</sup> Apparent Power Factor

<sup>4</sup> Displacement Power Factor

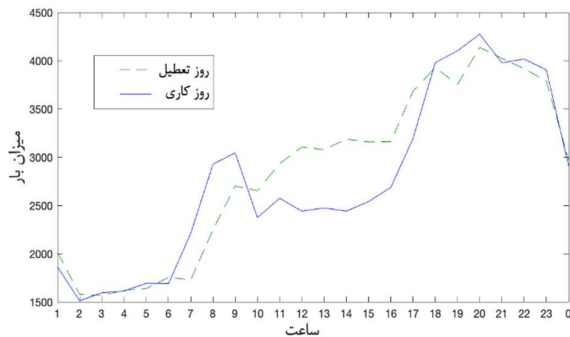
<sup>5</sup> Reactive Power (Q)

<sup>6</sup> Apparent Power (|S|)

<sup>7</sup> Complex Power (S)

### ۳-۳ بررسی الگوی مصرف انرژی

مقایسه مصرف ساعتی در روزهای کاری و تعطیل، اطلاعات مفیدی از تفاوت الگوی مصرف این خانه را مشخص می کند که در شکل ۲ مشخص شده است.

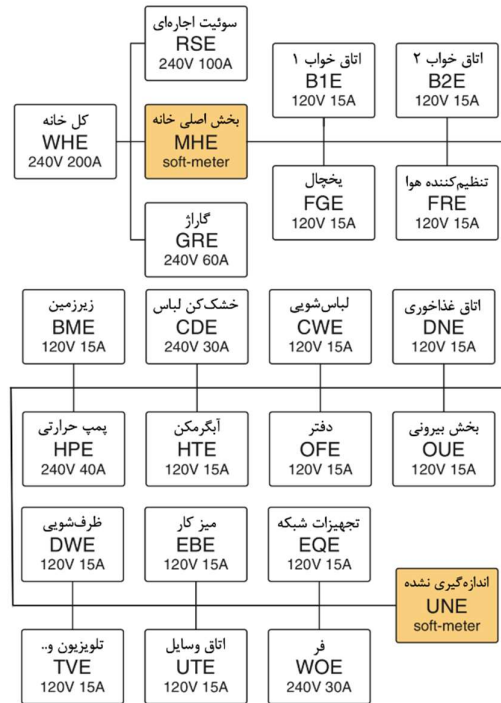


شکل ۲- مقایسه ساعات اوج مصرف روزهای تعطیل و کاری

همان طور که مشاهده می شود روند استفاده از لوازم برقی در روزهای کاری از ساعت ۶ صبح شروع شده و به صورت صعودی تا ساعت ۹ ادامه می یابد در حالی که در روزهای تعطیل این روند با یک ساعت تاخیر آغاز شده و پس از ساعت اوج صبح، برخلاف روز کاری کاهش مصرفی رخ نمی دهد. ساعت و الگوی اوج مصرف شبانه در روزهای کاری و تعطیل تفاوت چشمگیری با یکدیگر ندارند. داده های اولیه، هر دقیقه اندازه گیری شده اند و در این جا سه نوع تجمیع ساعتی، روزانه و ماهانه بر روی آن ها انجام شده است. برای کشف شباهت الگوهای مصرف، از معیار همبستگی<sup>۱</sup> بین حسگرها استفاده شده است. بعضی از شباهت ها تنها در یک سطح تجمیع (برای مثال فقط در تجمیع ساعتی) مشخص می شوند و بعضی دیگر در تجمیع های متفاوت نیز دیده می شوند. برای مثال، شباهت الگوی مصرف بخش اصلی خانه بدون گاراژ و سوئیت- (MHE) با تمام خانه (WHE) در تمامی سطوح زمانی همبستگی بالای ۰٫۹۰ دارد در حالی که الگوی مصرف تلویزیون و دستگاه های مرتبط به آن (TVE) با زیر زمین (BSE) در بازه های زمانی کوتاه، مشابهت بیشتری را نشان می دهد. بنابراین در ادامه به بررسی الگوی مصرف انرژی در سه سطح مختلف ساعت، روز و ماه پرداخته می شود.

### ۳-۳-۱ تحلیل الگوی مصرف ساعتی انرژی

در این بخش میزان شباهت رفتار حسگرها در واحد ساعت مورد بررسی قرار گرفته است. جدول ۱ نشان دهنده میزان شباهت



شکل ۱- نام کامل و روابط حسگرها [۱۹]

### ۳-۳ پیش پردازش

عملیات پیش پردازش به ما کمک می کند که داده های سازگار، دقیق و کامل داشته باشیم. این فرآیند بر روی داده های هر دستگاه اندازه گیری انجام و مقادیر نامعتبر در هر بخش به تناسب جایگزین شده است. همچنین برای اعتبارسنجی مقادیر، قانونی به این شکل تعریف شده است که میزان برق مصرفی کل خانه هیچگاه نباید کمتر از مجموع مصرف برق اندازه گیری شده حسگرها باشد و در مواردی که این حالت رخ داده است عدد آن با مجموع مقادیر اندازه گیری شده حسگرها جایگزین شده است. یکی از مشکلات نمونه برداری همگام سازی ساعت دستگاه های نمونه بردار عنوان شده است و شرایط فوق به این دلیل رخ می دهد که اندازه گیری ها دقیقاً در یک زمان خاص نبوده اند.

زمان های اندازه گیری مجموعه داده با استفاده از unix time مشخص شده است که تعداد ثانیه های گذشته از ساعت ۰۰:۰۰ روز اول ژانویه ۱۹۷۰ را نشان می دهد. در پیش پردازش، این مقدار به تاریخ و زمان اصلی خانه (با در نظر گرفتن اختلاف زمانی منطقه نسبت به گرینویچ) تبدیل شده است و در ادامه با تطبیق تاریخ و تقویم، روزهای کاری و آخر هفته متمایز شده اند.

<sup>1</sup> correlation

## سومین کنفرانس بین المللی اینترنت اشیا و کاربردها

فروردین ۱۳۹۸ - دانشگاه اصفهان

عنوان مثال در جدول ۳، حسگرهای ردیف‌های ۳ و ۴ که در تجمیع‌های ساعتی و روزانه همبستگی کمی داشتند، در مصرف ماهیانه شباهت زیادی را نشان می‌دهند. این ردیف‌ها شباهت مصرف اتاق خواب اول (B1E) و دوم (B2E) و دستگاه‌های بدون حسگر اندازه‌گیری (UNE) را نشان می‌دهند که می‌توان احتمال داد که این دستگاه‌های جانبی بیشتر در اتاق‌های خواب مورد استفاده قرار می‌گرفته است. ردیف ۵ شباهت مصرف ماشین لباس‌شویی (CWE) و خشک‌کن لباس (CDE) را نشان می‌دهد و ردیف ۶ نشان‌دهنده مصرف مشابه آبگرمکن (HTE) و ماشین ظرف‌شویی (DWE) است.

جدول ۳- شباهت الگوی مصرف حسگرها با تجمیع ماهانه

همبستگی	حسگر ۲	حسگر ۱
۰,۹۹۲۸	بخش اصلی خانه	کل خانه
۰,۹۱۷۸	بخش اصلی خانه	پمپ حرارتی
۰,۸۷۰۷	اندازه‌گیری نشده	اتاق خواب ۱
۰,۷۶۷۴	اندازه‌گیری نشده	اتاق خواب ۲
۰,۷۴۳۰	خشک‌کن لباس	لباس‌شویی
۰,۶۹۵۴	آبگرمکن	ظرف‌شویی
۰,۶۳۱۹	تلویزیون و...	زیرزمین

همان‌طور که مشاهده می‌شود دیدگاه سلسله‌مراتبی در مفاهیم زمانی در مصرف دستگاه‌های برقی، می‌تواند منجر به کشف الگوهای متفاوتی شده و روابط استفاده از دستگاه‌ها را آشکار سازد.

### ۴- نتیجه‌گیری

پیش‌بینی و مدیریت مصرف برق خانگی به عنوان یکی از چالش‌های تامین‌کنندگان و مصرف‌کنندگان شناخته می‌شود و شناخت الگوی مصرف نقش به‌سزایی در بهبود آن دارد. در این مقاله با بررسی یک مجموعه داده مربوط به میزان مصرف یک خانه، به شناخت الگوی استفاده و روابط بین دستگاه‌ها پرداخته شده و با نگاه سلسله‌مراتبی به داده‌ها، استخراج الگو انجام شده است. نتایج به دست آمده، نشان از دقت الگوهای مصرف و روابط معنادار و صحیح بین استفاده از دستگاه‌های مختلف دارد.

حسگرها در تجمیع ساعتی است. همان‌طور که در بالا گفته شد شباهت الگوی مصرف بخش اصلی خانه (MHE) و کل خانه (WHE) در تمامی جداول در ردیف ۱ مشخص است و با تجمیع مقادیر (در جداول ۲ و ۳) این شباهت بیشتر نیز می‌شود. ردیف دوم جدول ۱ (همچنین ردیف ۵ جدول ۲ و ردیف ۷ جدول ۳) شباهت الگوی استفاده از تلویزیون (TVE) و پرزها و چراغ‌های زیرزمین (BME) را نشان می‌دهد که این میزان در تجمیع ساعتی به وضوح دیده شده و در تجمیع روزانه و ماهانه کمتر مشخص می‌شود. ردیف ۳ جدول ۱ همبستگی مصرف برقی زیرزمین (BME) و خشک‌کن لباس (CDE) را نشان می‌دهد که در دیگر جداول این الگو مشخص نشده است.

جدول ۱- شباهت الگوی مصرف حسگرها با تجمیع ساعتی

همبستگی	حسگر ۲	حسگر ۱
۰,۹۰۱۳	بخش اصلی خانه	کل خانه
۰,۸۰۹۹	تلویزیون و...	زیرزمین
۰,۵۹۸۰	خشک‌کن لباس	زیرزمین

### ۳-۳-۲ تحلیل الگوی مصرف روزانه انرژی

در این تحلیل به دنبال یافتن حسگرهایی هستیم که الگوی مصرف آن‌ها در طول روز با یکدیگر شباهت دارد. به عنوان مثال ردیف ۲ جدول ۲ نشان‌دهنده شباهت مصرف برق زیرزمین (BME) و اتاق غذاخوری (DNE) است که تنها در این سطح تجمیع مشخص شده است. ردیف ۳ و ۴ این جدول شباهت مصرف بخش اصلی خانه (MHE) با پمپ حرارتی (HPE) و دستگاه‌های بدون حسگر اندازه‌گیری (UNE) را نشان می‌دهد.

جدول ۲- شباهت الگوی مصرف حسگرها با تجمیع روزانه

همبستگی	حسگر ۲	حسگر ۱
۰,۹۲۶۳	بخش اصلی خانه	کل خانه
۰,۸۹۳۵	اتاق غذاخوری	زیرزمین
۰,۷۸۲۸	پمپ حرارتی	بخش اصلی خانه
۰,۶۷۰۲	اندازه‌گیری نشده	بخش اصلی خانه
۰,۶۲۱۰	تلویزیون و...	زیرزمین

### ۳-۳-۳ تحلیل الگوی مصرف ماهیانه انرژی

هدف از تحلیل الگوی مصرف ماهیانه، شناسایی رفتارهایی است که در طول روزهای مختلف یک ماه تغییر چندانی ندارد. به

*International Conference on*, 2015, pp. 1123-1129: IEEE.

- [13] L. Hawarah, S. Ploix, and M. Jacomino, "User behavior prediction in energy consumption in housing using Bayesian networks," in *International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing*, 2010, pp. 372-379: Springer.
- [14] A. Kavousian, R. Rajagopal, and M. Fischer, "Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior," *Energy*, vol. 55, pp. 184-194, 2013.
- [15] K. Basu, V. Debusschere, and S. Bacha, "Appliance usage prediction using a time series based classification approach," in *IECON 2012-38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, 2012, pp. 1217-1222: IEEE.
- [16] K. Basu, L. Hawarah, N. Arghira, H. Joumaa, and S. Ploix, "A prediction system for home appliance usage," *Energy and Buildings*, vol. 67, pp. 668-679, 2013.
- [17] S. Rollins and N. Banerjee, "Using rule mining to understand appliance energy consumption patterns," in *Pervasive Computing and Communications (PerCom), 2014 IEEE International Conference on*, 2014, pp. 29-37: IEEE.
- [18] J. Han, J. Pei, and M. Kamber, *Data mining: concepts and techniques*. Elsevier, 2011.
- [19] S. Makonin, B. Ellert, I. V. Bajić, and F. J. S. d. Popowich, "Electricity, water, and natural gas consumption of a residential house in Canada from 2012 to 2014," vol. 3, p. 160037, 2016.

## مراجع

- [1] T.-T.-H. Le and H. Kim, "Non-Intrusive Load Monitoring Based on Novel Transient Signal in Household Appliances with Low Sampling Rate," *Energies*, vol. 11, no. 12, p. 3409, 2018.
- [2] A. Zipperer *et al.*, "Electric energy management in the smart home: Perspectives on enabling technologies and consumer behavior," *Proceedings of the IEEE*, vol. 101, no. 11, pp. 2397-2408, 2013.
- [3] B. Anca-Diana, G. Nigel, and M. Gareth, "Achieving Energy Efficiency Through Behaviour Change: What Does It Take," Technical Report.
- [4] C. Dinesh, S. Makonin, and I. V. Bajić, "Incorporating time-of-day usage patterns into non-intrusive load monitoring," in *Signal and Information Processing (GlobalSIP), 2017 IEEE Global Conference on*, 2017, pp. 1110-1114: IEEE.
- [5] K. Gajowniczek and T. Ząbkowski, "Data mining techniques for detecting household characteristics based on smart meter data," *Energies*, vol. 8, no. 7, pp. 7407-7427, 2015.
- [6] R. Pérez-Chacón, R. L. Talavera-Llames, F. Martinez-Alvarez, and A. Troncoso, "Finding electric energy consumption patterns in big time series data," in *Distributed Computing and Artificial Intelligence, 13th International Conference*, 2016, pp. 231-238: Springer.
- [7] P. Zhang, X. Wu, X. Wang, and S. Bi, "Short-term load forecasting based on big data technologies," *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, vol. 1, no. 3, pp. 59-67, 2015.
- [8] S. Singh and A. Yassine, "Big data mining of energy time series for behavioral analytics and energy consumption forecasting," *Energies*, vol. 11, no. 2, p. 452, 2018.
- [9] G. Wood and M. Newborough, "Dynamic energy-consumption indicators for domestic appliances: environment, behaviour and design," *Energy and buildings*, vol. 35, no. 8, pp. 821-841, 2003.
- [10] G. Wood and M. Newborough, "Influencing user behaviour with energy information display systems for intelligent homes," *International journal of energy research*, vol. 31, no. 1, pp. 56-78, 2007.
- [11] M. Hassani, C. Beecks, D. Töws, and T. Seidl, "Mining Sequential Patterns of Event Streams in a Smart Home Application," in *LWA*, 2015, pp. 159-170.
- [12] D. Schweizer, M. Zehnder, H. Wache, H.-F. Witschel, D. Zanatta, and M. Rodriguez, "Using consumer behavior data to reduce energy consumption in smart homes: Applying machine learning to save energy without lowering comfort of inhabitants," in *Machine Learning and Applications (ICMLA), 2015 IEEE 14th*