هفتمین کنفرانس ملی مباحث نوین در کامپیوتر و فناوری اطلاعات
7th National Conference on Advanced Topics in Computer and Information Technology
۲ آذر ماه ۱۴۰۲

بررسی نقش رفتار ساکنان ساختمان‌های هوشمند در میزان مصرف انرژی

علیرضا صفائی
گروه کامپیوتر، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران
alisafasafaei@yahoo.com

چکیده : یکی از مهمترین چالش‌هایی که کشورهای جهان سوم امروزه با آن روبرو هستند مصرف بی‌رویه انرژی و سوخت می‌باشد که این موضوع اقتصاد کشورهای جهان سوم را تحت تاثیر قرار می‌دهد این مصرف انرژی در ساختمان‌های مناطق مسکونی به دلیل استفاده از وسایل الکتریکی بیشتر است. مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی یکی از مهمترین اهداف کشورهای مختلف برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش آلودگی محیط‌زیست و استقلال کشور از واردات حامل‌های انرژی است؛ برای این منظور در کشورهای مختلف بویژه کشورهای صنعتی، ارگان‌ها و مؤسسات تحقیقاتی مختلف اعم از دولتی و خصوصی برای انجام پژوهش‌ها در زمینهٔ برنامه‌ریزی مصرف انرژی و صرفه‌جویی و بهینه کردن آن تأسیس شده‌اند و در واقع انرژی به یکی از مسائل مهم و استراتژیک در اقتصاد ملل جهان تبدیل شده است. لذا در این مقاله با استفاده از تحلیل رفتار ساکنان در ساختمان به پیش‌بینی میزان انرژی مصرفی آنها پرداختیم.

کلمات کلیدی: ساختمان‌های هوشمند – مصرف انرژی – رفتار ساکنان-پیش‌بینی

۱ - مقدمه

امروزه به دلیل رشد جمعیت، نیاز روزافزون بشر و افزایش دمای سالیانه کره زمین مصرف انرژی همواره رو به افزیش است به نحوی که مصرف انرژی در ساختمان یک سوم مصرف انرژی سالانه کشور را به خود اختصاص می‌دهد. در دو دهه گذشته با توجه به استفاده عظیمی از منابع انرژی، منابع فسیلی غالب در جهان در حال کاهش می‌باشد؛ امروزه نگرانی که در میان دولت‌ها، پژوهشگران، سیاستگذاران و دانشمندان کشورهای در حال توسعه علاوه بر تغییر آب و هوایی وجود دارد امنیت انرژی و تأثیرات نامطلوب آن بر محیط زیست نیز می‌باشد[۱]. لذا یکی از مهمترین چالش‌هایی که کشورهای جهان سوم امروزه با آن روبرو هستند مصرف بی‌رویه انرژی و سوخت می‌باشد که این موضوع اقتصاد کشورهای جهان سوم را تحت تاثیر قرار می‌دهد این مصرف انرژی در ساختمان‌های مناطق مسکونی به دلیل استفاده از وسایل الکتریکی بیشتر است[۲]. بنابرگزارش اعلام شده اتحادیه اروپا ساختمان‌های مسکونی تقریبا ۳۵درصد از گازهای گلخانه‌ای که بیشتر گاز منواکسید کربن می‌باشد را تولید می‌کند در صورتی که بخش‌های صنعتی حدودا ۲۵درصد و بخش حمل و نقل ۳۲ درصد را به خود اختصاص داده است. برآورد شده است که این افزایش مصرف انرژی در ساختمان‌های مناطق مسکونی در کشورهای در حال توسعه تا سال ۲۰۵۰ حدود 25درصد بیشتر خواهد شد که این امر نیاز به یک برنامه‌ریزی ضروری برای کاهش مصرف انرژی در این کشورها را دارد[۳]. بدین منظور سیاست‌هایی برای طراحی، برنامه‌ریزی ایمنی ساختمان‌های مسکونی در بیشتر کشورهای در حال توسعه به منظور کنترل و یا کاهش مصرف انرژی از قبیل طراحی سیستم‌های کنترل و مدیریت انرژی ساختمان، استفاده از پنجره‌های با راندمان بالا، تهویه طبیعی مناسب و عایق‌بندی ساختمان‌ها با در نظر گرفتن شکل، جهت و اندازه ساختمان‌ها در دستور کار قرار داده شده است؛ طرح دیگری که از سال ۲۰۰۲ به منظور اصلاح روابط بین انرژی و ساختمان در بیشتر کشورهای در حال توسعه، در حال اجرا می‌باشد گواهی عملکرد انرژی ساختمان برای کاهش و یا به حداقل رساندن مصرف انرژی برای هر ساختمان می‌باشد[۴]. در دهه گذشته روند رو به رشد شدت اتلاف انرژی در کشورهای در حال توسعه بسیار سریع و نگران کننده بوده

است این روند بسیار بالاتر از میانگین رشد جهانی در کشورهای پیشرفته صنعتی می‌باشد. بنابراین با توجه به اهمیتی که انرژی در زندگی بشر دارد نیاز است که بتوان روش‌ها و برنامه‌های آن را کنترل کرد بدین منظور نقش سیستم‌های مدیریت انرژی شناخته شده و قابل توجه می‌باشد. مواردی از قبیل مدیریت و کنترل انرژی، صرفه‌جویی و بهره‌وری مناسب، تهویه مناسب، بررسی مقدار انرژی مصرف شده در ساختمان‌ها، کنترل سیستم‌های فعال گرمایش و سرمایشی و غیره از مزایای استفاده کردن از سیستم‌های مدیریت انرژی در ساختمان‌ها می‌باشد[۵]. مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی یکی از مهمترین اهداف کشورهای مختلف برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش آلودگی محیط‌زیست و استقلال کشور از واردات حامل‌های انرژی است؛ برای این منظور در کشورهای مختلف بویژه کشورهای صنعتی، ارگان‌ها و مؤسسات تحقیقاتی مختلف اعم از دولتی و خصوصی برای انجام پژوهش‌ها در زمینهٔ برنامه‌ریزی مصرف انرژی و صرفه‌جویی و بهینه کردن آن تأسیس شده‌اند و در واقع انرژی به یکی از مسائل مهم و استراتژیک در اقتصاد ملل جهان تبدیل شده است[۶]. در مرجع [۷] با تمرکز بر عملکرد انرژی و تحلیل هزینه برای مقاوم‌سازی ساختمان‌های انرژی نزدیک به صفر یک هتل معمولی در بریتانیا ابتدا مقدار مصرف انرژی در کل سال محاسبه شد و مشخص شد اگرچه هدف nZEB از لحاظ فنی امکان‌پذیر است یک فاصله ۳۲ درصدی بین راه‌حل nZEB و راه‌حل هزینه بهینه وجود دارد. راه‌حل بهینه هزینه کاهش ۵۲ درصدی در مصرف انرژی اولیه را نشان می‌دهد. در مرجع [۸] از الگوریتم‌های J48، جنگل تصادفی و چانه‌زنی به پیش‌بینی قیمت برق پرداخته شد. نتایج بدست آمده نشان داد که اثربخشی مدل‌های پیشنهادی از طریق آزمون‌های جامع همراه با استفاده از داده‌های واقعی قیمت بازار برق استرالیا بوده والگوریتم چانه‌زنی از دقت قابل توجهی برخوردار است. در مرجع [۹] یک سیستم مدیریت انرژی جدید خانه (HEMS) را پیشنهاد می‌کند که به طور مطلوب برنامه‌های کاربردی منابع انرژی خانگی را برنامه ریزی می‌کند و هدف آن حداقل هزینه برق یک روزه با در نظر گرفتن هزینه ساعتی برق می باشد. برای اطمینان از الزامات شیوه زندگی کاربر HEMS همچنین وابستگی عملیاتی مربوط به شیوه زندگی وسایل خانگی را مدل می‌کند. در مرجع [۱۰]یک سیستم مدیریت انرژی مبتنی بر IoT براساس زیرساخت های محاسبات لبه با یادگیری عمیق طراحی شده. همچنین، یک مرور کلی از مدیریت انرژی مبتنی بر IoT در شهرهای هوشمند توصیف شده است. سپس مدل چارچوب و نرم افزاری سیستم مبتنی بر IoT با محاسبات لبه ارائه شده است. پس از آن، یک برنامه زمانبندی انرژی کارآمد با آموزش عمیق تقویت برای چارچوب پیشنهادی ارائه شده. در نهایت اثربخشی طرح پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفته است. درمرجع[۱۱] جهت پیش‌بینی قیمت انرژی در شبکه‌های هوشمند از مدل هیبریدی مبتنی بر تبدیل ویولت مختلط و موتور پیش‌بینی چندسطحی استفاده شد. در این مدل پیشنهادی ابتدا از داده‌های ورودی تبدیل ویولت گرفته شده و سپس داده‌های بدست آمده از مرحله قبل به یک موتور پیش‌بینی سه سطحی وارد و در نهایت با اعمال بر روی داده‌های بازار برق انگلستان و استرالیا مورد بررسی قرار گرفته شد. با توجه به اینکه بیشترین بخش مصرف انرژی در بخش ساختمان‌ها است نیاز به اجرای راه‌حل‌های جدید در ساختمان‌ها وجود دارد؛ بنابراین شناسایی عوامل مصرف انرژی، مدل‌سازی الگوها و درک مناسب از رفتار ساکنان باید محقق شود.

۲- خانه هوشمند

در فرهنگ لغت خانه‌های هوشمند خانه‌هایی با اتوماسیون بسیار بالا تعریف شده است که در آن‌ها نه تنها سرگرمی صوتی و تصویری به صورت شبکه می‌باشد بلکه تهویه هوا و روشنایی نیز شبکه شده است. خانه‌های هوشمند برای اولین بار و بطور رسمی توسط انجمن آمریکایی از سازندگان خانه در سال ۱۹۸۴ معرفی شد. اطلاعات مکانی کاربران در برنامه‌های کاربردی نقش مهمی دارد. ارائه خدمات مختلف در ساختمان‌های هوشمند نیازمند اطلاع از تعداد و مکان ساکنین و حتی میزان تحرک و فعالیتشان می‌باشد زیرا که بسته به این اطلاعات نوع خدمات رفاهی موردنیاز نیز متفاوت خواهد بود. علاوه بر این جهت ارائه خدماتی مبتنی بر سلیقه‌های مختلف، اطلاعات هویتی افراد نیز مورد نیاز است. سیستم‌های اتوماسیون خانگی به طور خاصی جذاب و جالب توجه هستند چرا که امکان کنترل از راه دور هر چیزی را از طریق برنامه‌های کاربردی خواهئد داشت. از مزایای خانه هوشمند می‌توان به موارد زیر اشاره نمود [۱۲،۱۳]:

- کنترل روشنایی و نورپردازی
- تنظیم و کنترل هوشمندانه سرمایش، گرمایش
- تنظیم و کنترل هوشمندانه روشنایی براساس زمان، میزان شدت نور طبیعی و نیز حضور و یا عدم حضور ساکنین.
- ایجاد و اجرای سناریوهای مختلف کنترل روشنایی مانند سناریوی ورود، خروج و غیره.
- کنترل و مانیتورینگ تجهیزات منزل در هر لحظه با استفاده از پنل‌های کنترلی نصب شده در محل‌های مورد علاقه.

- کنترل و مانیتورینگ تجهیزات منزل در هر لحظه هنگام خروج از منزل با استفاده از تلفن همراه و از طریق پیامک.
- تأمین امنیت ساختمان (دوربین‌های مداربسته، قفل‌های الکترونیکی و نظارت از راه دور و....).
- قطع برق و گاز در مواقع خطر و اطلاع به ساکنین در صورت عدم حضور.
- کنترل پرده‌های برقی.
- مدیریت مصرف انرژی.
- آبیاری خودکار فضای سبز خانه.

۳- شخصی سازی انرژی در خانه هوشمند

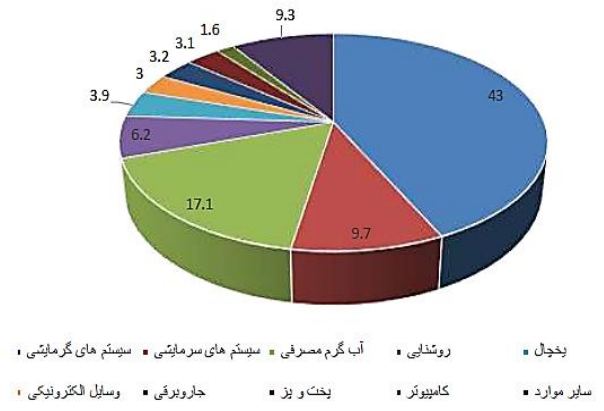
شخصی‌سازی عبارت است از عمل تکمیل یک تجربه یا ارتباطات مبتنی بر اطلاعاتی که یک شرکت در مورد یک فرد آموخته است. تعداد راه‌های زیادی وجود دارد که می‌توان از این اطلاعات استفاده کرد. به عنوان مثال یک سایت فناوری B2B صفحه اصلی وب سایت خود را برای ارتباط متفاوت با شرکت‌های خاص است با استفاده از شخصی سازی تغییر می‌دهد. با توجه به اینکه بیشترین بخش انرژی مصرفی در سرتاسر جهان در بخش ساختمان است، یک نیاز اساسی به مفهوم سازی و طراحی راه‌حل‌های جدید در ساختمان‌های هوشمند وجود دارد که می‌توانند از طریق اتخاذ تکنیک‌های کارآمد در مصرف انرژی و مدیریت فعال ساکنان، مصرف انرژی را به طور قابل توجهی کاهش دهند. در راستای طراحی چنین راه‌حل‌هایی، شناسایی عوامل اصلی مصرف انرژی، روندها و الگوها به همراه مدلسازی و درک مناسب از رفتار ساکنان و پتانسیل‌های لازم برای اتخاذ تغییرات سبک زندگی سازگار با محیط زیست باید تحقق یابد. فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات که اغلب مربوط به تکامل IoT هستند برای مدلسازی داده‌ها، مدیریت و تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ و شخصی سازی استفاده می‌شوند. ترکیبی از چنین فناوری‌هایی منجر به یک رویکرد معماری باز و گسترده شده است که می‌تواند از یک روش همگن، کارآمد و مقیاس‌پذیر استفاده کند که مبتنی بر مقادیر عظیمی از داده‌های رفتاری انرژی جمع‌آوری شده است. این موضوع منجر به طراحی مدیریت انرژی و خدمات مبتنی بر سبک زندگی ساکنان می‌شود[۱۴].

۴- مدیریت انرژی هوشمند خانه

در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان، می‌توان از سیستم‌ها و تجهیزاتی نیز بهره جست تا نیاز انرژی ساختمان تا حد امکان کاهش یابد. در حال حاضر فناوری‌های مطرح در سطح جهانی امکان طراحی و ساخت ساختمان‌هایی را فراهم می‌کند که دارای نیاز انرژی کمی هستند. ساختمان‌هایی نیز در کشورهای پیشرفته دنیا طراحی و ساخته می‌شوند که نه تنها نیاز سالانه انرژی را به صورت ساختمان با انرژی تأمین می‌کنند بلکه قادر هستند انرژی اضافه تولید شده را به شبکه برق سراسری منتقل نمایند. در ادامه به معرفی برخی از فناوری‌های مطرح و قابل استفاده در ساختمان پرداخته می‌شود. مهمترین اقدام جهت دستیابی به اهداف تعیین شده در این زمینه عبارتند از [۱۵]:

- بهره‌گیری حداکثر از انرژی خورشیدی با استفاده از سیستم‌های فعال[1] و غیرفعال[2]
- بهره‌گیری حداکثر از دیگر انرژی‌های تجدیدپذیر
- بازیافت انرژی
- ذخیره‌سازی انرژی
- کاربرد تجهیزات مکانیکی و الکتریکی (تأسیسات مکانیکی و الکتریکی) با بازده انرژی بالا در ساختمان
- بهره‌گیری از سیستم‌های هوشمند برای انطباق هر چه بیشتر تولید انرژی با نیازهای واقعی و مقطعی

شکل (۱) میزان انرژی مصرفی برای هر بخش از ساختمان را نشان می‌دهد که باید جهت رسیدن به اهداف یک سیستم هوشمند با توجه به میزان مصرف و امکان صرفه‌جویی، مجموعه مدرن کنترلی را برنامه‌ریزی کرد. لذا یک سیستم مدیریت انرژی ساختمان هوشمند می‌تواند قابلیت آن را داشته باشد که در زمینه‌های مختلف این وظیفه را بر عهده بگیرد.



شکل ۱: میزان انرژی مصرفی در بخش‌های مختلف ساختمان

[1] Active solar

[2] Passive solar

مدیریت مصرف انرژی از طریق یکپارچه کردن چهار عنصر اصلی یعنی سیستم‌ها، ساختار، سرویس‌ها (خدمات)، مدیریت و رابطه بین آنها در راستای تحقق محیطی پویا و مقرون به صرفه عمل می‌نماید. سیستم مدیریت انرژی در ساختمان از طریق سیستم‌های کنترلی زیر اعمال می‌شود:

۱-سیستم تهویه مطبوع[3]
۲-سیستم اطفاء حریق[4]
۳-سیستم ایمنی[5]
۴-سیستم مدیریت روشنایی

به عنوان مثال در ساختمان‌های اداری و تجاری دستگاه تهویه مطبوع و سیستم روشنایی مرکزی جزء پرمصرف‌ترین‌ها هستند. البته کاربرد سیستم‌های HVAC مصرف انرژی را تا حد زیادی با کاهش روبرو ساخته است. با در نظر گرفتن میزان مصرف انرژی با توجه به روشنایی روز و دمای بیرون سیستم قادر است یک روش مصرف ارزان قیمت را همراه با صرفه‌جویی در انرژی انتخاب نماید. در نظر گرفتن دمای مطلوب ساختمان بر اساس نوع استفاده‌ای که از آن می‌شود مصرف انرژی را تا حد بسیار زیادی کاهش می‌دهد. این کار با در نظر گرفتن اطلاعات اولیه‌ای که کارفرما به سیستم می‌دهد و همچنین داده‌هایی که سیستم به عنوان پیش‌فرض دارد ازجمله تغییرات روزانه و فصلی شرایط آب و هوایی طرح و نحوه انتخاب تجهیزات صورت می‌گیرد. درنتیجه فرآیند مصرف تصاعدی انرژی و ایجاد هزینه‌های بالا برای نگهداری ساختمان از بین می‌رود و همچنین میزان آسایش ساکنین در ساختمان افزایش می‌یابد.

۵– داده کاوی

داده‌کاوی یکی از رشته‌های نسبتا جدید علمی است که اشاره به استخراج و یا کاوش دانش از حجم عظیمی از داده‌ها دارد و از توابع و الگوریتم‌های پیشرفته ریاضی استفاده می‌کند تا بتواند ارتباط میان دو دسته از داده‌ها و امکان رخ دادن یک نتیجه را در آینده پیش‌بینی نماید؛ بدین ترتیب می‌توان با اطمینان بیشتری در مورد یک پدیده تصمیم گرفت بنابراین چنین عملی سبب می‌شود که دستیابی به تصمیم‌های کاربردی امکان‌پذیر شود. در واقع داده‌کاوی توسط یک فرد با هدفی خاص و همراه با یک مجموعه داده صورت می‌گیرد. این فرد با بکارگیری الگوریتم‌های یادگیری ماشین قصد دارد الگوی مورد نیاز خود را از یک مجموعه داده دریافت نماید؛ اکثر اوقات ممکن است این مجموعه داده که بسیار حجیم و پیچیده است نواقص و اشکالاتی نیز درون آن وجود داشته باشد. هر چند در متون آکادمیک تعاریف گوناگونی برای داده کاوی ارائه شده است اما در یک تعریف کلی داده کاوی را می‌توان فرایند استخراج اطلاعات معتبر از پیش ناشناخته، قابل فهم و قابل اعتماد از پایگاه داده‌های بزرگ و استفاده از آن در تصمیم‌گیری در فعالیت‌های تجاری مهم تعریف کرد. [۱۶،۱۷] :

۶ – شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی[6] یکی از روش‌های دسته‌بندی داده‌ها در داده کاوی است که در آن مدل یاد گرفته شده به صورت مجموعه‌ای از گره‌های به هم متصل به همراه ارتباطات وزن‌دار آنها نمایش داده می‌شود. شبکه‌های عصبی برای تشخیص روابط در داده‌های با حجم بالا از عملکرد مغز انسان الگو می‌گیرند به همین دلیل در نام آنها از واژه نورون استفاده شده است و دارای دو نوع زیستی و مصنوعی هستند. شبکه‌های عصبی در فرآیند آموزش خود اطلاعات مربوطه را در شبکه ذخیره می‌کنند. این شبکه توانایی یادگیری دارد و می‌تواند با توجه به اطلاعات اولیه چیزی را فرا بگیرد و یا براساس آموخته‌های خود تصمیم‌گیری کند. شبکه‌های عصبی می‌توانند با تغییر ورودی سازگار شوند به همین دلیل بدون نیاز به طراحی مجدد معیارهای خروجی می‌توانند بهترین نتیجه ممکن را تولید کنند. همان طور که گفتیم یک شبکه عصبی مانند شبکه عصبی مغز انسان عمل می‌کند که نورون در آن یک تابع ریاضی است و اطلاعات را با توجه به معماری خاص خود جمع‌آوری و طبقه‌بندی می‌کند. این شبکه شباهت زیادی به روش‌های آماری مانند برازش منحنی و تحلیل رگرسیون دارد. یک شبکه عصبی شامل چند لایه از گره‌های به هم پیوسته است. هر گره یک گیرنده است و شبیه به یک رگرسیون خطی چندگانه است. شبکه‌های عصبی که ریشه در هوش مصنوعی دارند به سرعت در توسعه سیستم‌های تجاری محبوبیت پیدا کردند و امروزه از آنها در نرم‌افزارهای مختلف مالی، تحقیقات بازار، پیش‌بینی و بازاریابی، کشف تقلب و ارزیابی ریسک استفاده می‌شود. همچنین شبکه‌های عصبی کاربردهای گوناگونی در پیش‌بینی قیمت در بازار سهام دارند. شبکه‌های عصبی در دنیای مالی به طبقه‌بندی اوراق بهادار، کشف تقلب، ارزیابی ریسک و ساخت شاخص‌های مالی کمک می‌کنند[۱۸].

[3] Heating, Ventilation and Air-Conditioning (HVAC)
[4] Fire safety
[5] Security
[6] Artificial Neural Networks

۷– ماشین‌های بردار پشتیبان

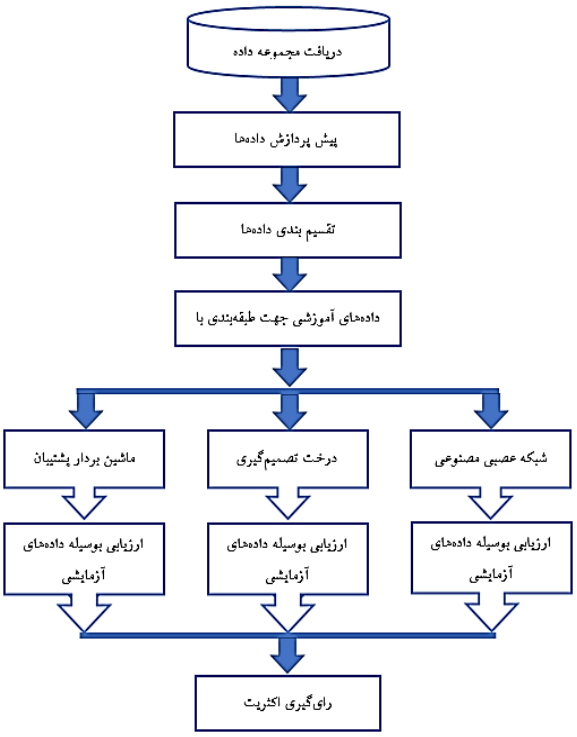
ماشین بردار پشتیبان[7] یک روش بسیار موثر برای رگرسیون، دسته‌بندی و تشخیص الگوی کلی هستند اما به طور گسترده در اهداف دسته‌بندی استفاده می‌شوند. هدف از اجرای الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان پیدا کردن یک هایپرپلین یا زیرصفحه[8] در یک فضای N بعدی (N برابر است با تعداد ویژگی‌ها) است که به طور مشخص نقاط داده را دسته‌بندی می‌کند. برای جدا کردن دو دسته از نقاط داده می‌توان زیرصفحه‌های زیادی را انتخاب کرد اما در این روش هدف ما یافتن صفحه‌ای است که دارای حداکثر حاشیه باشد، به این معنی که باید بین نقاط داده هر دسته با دسته دیگر حداکثر فاصله وجود داشته باشد تا نقاط آینده را بتوان را با اطمینان بیشتری دسته‌بندی کرد. زیرصفحه‌ها مرزهای تصمیم‌گیری هستند که به دسته‌بندی نقاط داده کمک می‌کنند. نقاط داده‌ای که در دو طرف زیرصفحه‌ها قرار دارند را می‌توان به دسته‌های مختلف نسبت داد. همچنین ابعاد زیرصفحه‌ها به تعداد ویژگی‌ها بستگی دارد. به عنوان مثال اگر دو ویژگی ورودی داشته باشیم زیرصفحه فقط یک خط دارد و اگر سه ویژگی ورودی داشته باشیم آنگاه زیرصفحه به به صفحه‌ای دو بعدی تبدیل می‌شود[۱۹].

۸– درخت تصمیم

درخت تصمیم[9] یکی از معروف‌ترین روش‌های دسته‌بندی داده‌ها در داده کاوی است که برای کمک به تصمیم‌گیری ساخته می‌شود. از این ساختار برای تقسیم مجموعه‌ای بزرگ از داده‌های جمع‌آوری شده به مجموعه‌های کوچک‌تر استفاده می‌شود، این عمل به واسطه یک مجموعه از قوانین ساده تصمیم‌گیری صورت می‌گیرد. در هر تقسیم‌بندی متوالی، اعضای مجموعه‌های حاصل بیش از پیش به یکدیگر شبیه می‌شوند. درخت تصمیم یک تقسیم‌بندی کننده بازگشتی فضای نمونه است. این مدل از چند گره و یک ریشه تشکیل شده است و همه گره‌ها به جز ریشه دقیقا یک لبه ورودی دارند. یک درخت تصمیم با یک گره اولیه شروع می‌شود که پس از آن پیامدهای احتمالی به صورت شاخه‌هایی از آن منشعب شده و هر کدام از آن پیامدها به گره‌های دیگری منجر شده که آنها نیز شاخه‌هایی از احتمالات دیگر را ایجاد می‌کنند. به گره‌های بدون خروجی برگ گفته می‌شود (به عنوان گره‌های انتهایی یا تصمیم‌گیری نیز شناخته می‌شود). در یک درخت تصمیم، هر گره داخلی فضای نمونه را به دو یا چند فضای فرعی تقسیم می‌کند که یک تابع گسسته خاص از مقادیر ویژگی‌های ورودی است[۲۰].

۹– پیاده سازی روش پیشنهادی

با توجه به اینکه بیشترین بخش مصرف انرژی در بخش ساختمان‌ها است نیاز به اجرای راه‌حل‌های جدید جهت صرفه‌جویی مصرف انرژی در ساختمان‌ها وجود دارد. بر این اساس در این تحقیق قصد داریم با استفاده از تحلیل رفتار ساکنان در ساختمان و الگوریتم‌های شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و درخت تصمیم به پیش‌بینی میزان انرژی مصرفی آنها بپردازیم. فلوچارت روش پیشنهادی در شکل (۲) آمده است.



شکل ۲: فلوچارت روش پیشنهادی

بنابراین همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است پس از دریافت مجموعه داده خانه هوشمند[10] (این مجموعه داده دارای ۱۰۹۵ نمونه بوده و تعداد نقاط مورد بررسی که بیانگر ویژگی‌های این مجموعه

[7] Support Vector Machines
[8] Hyperplane
[9] Decision Tree
[10] https://figshare.com/articles/REFIT_Smart_Home_dataset

داده هستند برابر با ۴۷ قطعه از یک خانه یا ویژگی مجموعه داده است. این نقاط دارای یک عدد هستند که بیانگر میزان انرژی مصرفی آن نقطه از ابتدای روز تا انتهای روز می‌باشد.) به اعمال پیش‌پردازش بر روی داده‌های آن پرداخته و داده‌های مورد نظر را در بازه بین صفر و یک مورد نرمال‌سازی قرار دادیم و در ادامه با استفاده از روش هولداوت داده‌ها به دو مجموعه داده آموزشی و آزمایشی با نسبت ۷۰ به ۳۰ درصد تقسیم شدند. پس از تقسیم‌بندی داده‌ها به ایجاد و ساخت الگوریتم‌های مورد استفاده پرداختیم و در ادامه به آموزش و ارزیابی هر یک از طبقه‌بندهای مورد نظر به تعداد ۱۰۰۵ مرتبه پرداخته شد و پس از رای‌گیری حداکثری از برچسب‌های هرکدام از طبقه‌بندهای ذکر شده به ارزیابی آنها براساس معیارهای مورد نظر پرداختیم و در نهایت از نتایج هرکدام از معیارها میانگین‌گیری نمودیم و پاسخ بدست آمده را بعنوان پاسخ نهایی در نظر گرفتیم. لازم به ذکر است که در روش پیشنهادی از سه الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و درخت تصمیم جهت طبقه‌بندی داده‌ها استفاده نمودیم. بدین منظور هرکدام از طبقه‌بندهای ذکر شده پس از ایجاد با استفاده از مجموعه داده آموزشی و به تعداد تکرار فرد یعنی ۱۰۰۵ مرتبه مورد آموزش قرار گرفته می‌شوند و پس از اتمام تعداد تکرارهای فرد انتخاب شده به رای‌گیری حداکثری از بین سطرهای برچسب‌های ایجاد شده در هر طبقه‌بند پرداخته و آن برچسبی که بیشترین تکرار را داشته است به عنوان برچسب نهایی انتخاب می‌شود. این کار برای سطر به سطر برچسب‌های پیشنهاد داده شده توسط هر کدام از طبقه‌بندهای مورد استفاده برای هر نمونه انجام می‌شود و در نهایت یک ستون برچسب پیشنهاد شده توسط رای‌گیری حداکثری وجود خواهد داشت که براساس آن به بررسی معیارهای ارزیابی پرداخته می‌شود. جهت بررسی میزان موفقیت و کارایی روش پیشنهادی در این تحقیق جهت پیش‌بینی میزان انرژی مصرفی در خانه‌های هوشمند از معیارهای زیر استفاده شد.

$$Accuracy = 100 * \left(\frac{N_{TP} + N_{TN}}{N_{TP} + N_{FN} + N_{TN} + N_{FP}}\right)$$

$$Sensitivity = 100 * \left(\frac{N_{TP}}{N_{TP} + N_{FN}}\right)$$

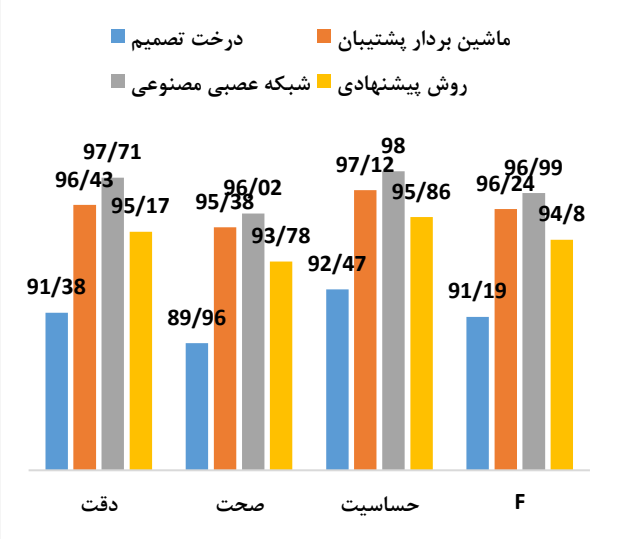
$$precision = 100 * \left(\frac{N_{TP}}{N_{TP} + N_{FP}}\right)$$

$$F - Measur = 2 \times \left(\frac{sensitivity \times precision}{sensitivity + precision}\right)$$

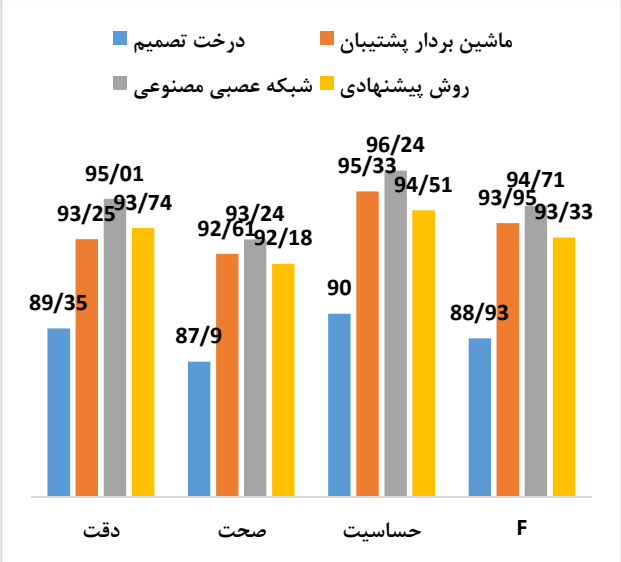
در این معادلات، N_{TP} تعداد درستی‌های مثبت، N_{TN} تعداد درستی‌های منفی، N_{FP} تعداد خطاهای مثبت و N_{FN} تعداد خطاهای منفی است.

۱۰- نتایج بدست آمده

در این بخش نتایج بدست آمده از هرکدام از طبقه‌بندهای مورد استفاده با اعمال رای‌گیری حداکثری بوسیله داده‌های آموزشی مورد بحث و بررسی قرار گرفته خواهد شد که در اشکال (۳) و (۴) نشان داده شده است.



شکل ۳: مقایسه نتایج بدست آمده برای داده‌های آموزشی



شکل ۴: مقایسه نتایج بدست آمده برای داده‌های آزمایشی

باتوجه به نتایج بدست آمده در می‌یابیم که روش پیشنهادی از عملکرد خوب و دقت بالایی در بررسی میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های هوشمند با استفاده از چگونگی رفتار ساکنان برخوردار است.

۱۱- نتیجه گیری

یکی از مهمترین چالش‌هایی که کشورهای جهان سوم امروزه با آن روبرو هستند مصرف بی‌رویه انرژی و سوخت می‌باشد که این موضوع اقتصاد کشورهای جهان سوم را تحت تاثیر قرار می‌دهد این مصرف انرژی در ساختمان‌های مناطق مسکونی به دلیل استفاده از وسایل الکتریکی بیشتر است. مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی یکی از مهمترین اهداف کشورهای مختلف برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش آلودگی محیط‌زیست و استقلال کشور از واردات حامل‌های انرژی است؛ برای این منظور در کشورهای مختلف بویژه کشورهای صنعتی، ارگان‌ها و مؤسسات تحقیقاتی مختلف اعم از دولتی و خصوصی برای انجام پژوهش‌ها در زمینهٔ برنامه‌ریزی مصرف انرژی و صرفه‌جویی و بهینه کردن آن تأسیس شده‌اند و در واقع انرژی به یکی از مسائل مهم و استراتژیک در اقتصاد ملل جهان تبدیل شده است. با توجه به اینکه بیشترین بخش مصرف انرژی در بخش ساختمان‌ها است نیاز به اجرای راه‌حل‌های جدید در ساختمان‌ها وجود دارد؛ بنابراین شناسایی عوامل مصرف انرژی، مدل‌سازی الگوها و درک مناسب از رفتار ساکنان باید محقق شود. بر این اساس در این تحقیق با استفاده از تحلیل رفتار ساکنان در ساختمان و روش‌های داده کاوی به پیش‌بینی میزان انرژی مصرفی آنها پرداختیم. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که روش پیشنهادی با دقت ۹۵.۱۷ درصد برای داده‌های آموزشی و دقت ۹۳.۷۴ درصد برای داده‌های آزمایشی قادر به پیش‌بینی میزان انرژی مصرفی در خانه هوشمند است. همچنین مقایسه نتایج روش پیشنهادی با هریک از طبقه‌بندهای مورد نظر برای داده‌های آموزشی و داده‌های آزمایشی نشان داد که معیارهای مورد بررسی در شبکه عصبی مصنوعی هم برای داده‌های آموزشی و هم برای داده‌های آزمایشی نسبت به ماشین بردار پشتیبان و درخت تصمیم از نتایج بالاتری برخوردار است و درخت تصمیم کمترین میزان نتایج را نسبت شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان دارا می‌باشد. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت روش پیشنهادی نسبت به روش‌های منفرد از عملکرد و کارایی خوبی برخوردار است.

مراجع

[1] Shah, S. F. A., Iqbal, M., Aziz, Z., Rana, T. A., Khalid, A., Cheah, Y. N., & Arif, M. (2022). The role of machine learning and the internet of things in smart buildings for energy efficiency. *Applied Sciences*, *12*(15), 7882.

[2] Syed, D., Abu-Rub, H., Ghrayeb, A., & Refaat, S. S. (2021). Household-level energy forecasting in smart buildings using a novel hybrid deep learning model. *IEEE Access*, *9*, 33498-33511.

[3] Farzaneh, H., Malehmirchegini, L., Bejan, A., Afolabi, T., Mulumba, A., & Daka, P. P. (2021). Artificial intelligence evolution in smart buildings for energy efficiency. *Applied Sciences*, *11*(2), 763.

[4] Durand, D., Aguilar, J., & R-Moreno, M. D. (2022). An analysis of the energy consumption forecasting problem in smart buildings using LSTM. *Sustainability*, *14*(20), 13358.

[5] Umair, M., & Shah, G. A. (2020, September). Energy Management of Smart Homes. In *2020 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)* (pp. 247-249). IEEE.

[6] Nabavi, S. A., Motlagh, N. H., Zaidan, M. A., Aslani, A., & Zakeri, B. (2021). Deep learning in energy modeling: Application in smart buildings with distributed energy generation. *IEEE Access*, *9*, 125439-125461.

[7] Salem, R., Bahadori-Jahromi, A., M, A,G, P., & Cook, D. (2020). Energy performance and cost analysis for the nZEB retrofit of a typical UK hotel. Journal of Building Engineering, 31, 101403.

[8] Srivastava, A. K., Singh, D., Pandey, A. S., & Kumar, S. (2020). SHORT TERM PRICE FORECASTING USING TREE BASED METHODS. *Compusoft*, *8*(1), 2985-2989.

[9] Luo, F., Kong, W., Ranzi, G. and Dong, Z.Y., 2019. Optimal home energy management system with demand charge tariff and appliance operational dependencies. *IEEE Transactions on Smart Grid*, *11*(1), pp.4-14.

[10] Liu, Y., Yang, C., Jiang, L., Xie, S. and Zhang, Y. 2019., Intelligent edge computing for IoT-based energy management in smart cities. *IEEE Network*, *33*(2), pp. 111-117.

[11] Ghadimi, N., Akbarimajd, A., Shayeghi, H., & Abedinia, O. (2019). A new prediction model based on multi-block forecast engine in smart grid. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, *9*(6), 1873-1888.

[12] Xu, X., Yu, H., Sun, Q., & Tam, V. W. (2023). A critical review of occupant energy consumption behavior in buildings: How we got here, where we are, and where we are headed. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *182*, 113396.

[13] Syed, D., Abu-Rub, H., Ghrayeb, A., & Refaat, S. S. (2021). Household-level energy forecasting in smart buildings using a novel hybrid deep learning model. *IEEE Access*, *9*, 33498-33511.

[14] Rehm, T. W., Schneiders, T., Strohm, C., & Deimel, M. (2018, May). Smart home field test–investigation of heating energy savings in residential buildings. In *2018 7th International Energy and Sustainability Conference (IESC)* (pp. 1-8). IEEE.

[15] Adams, J. N., Bélafi, Z. D., Horváth, M., Kocsis, J. B., & Csoknyai, T. (2021). How smart meter data analysis can support understanding the impact of occupant behavior on building energy performance: A comprehensive review. *Energies*, *14*(9), 2502.

[16] Hagan, M. T., Demuth, H. B., & Beale, M. (1997). *Neural network design*. PWS Publishing Co.

[17] Zadeh, L. A., Klir, G. J., & Yuan, B. (1996). *Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers* (Vol. 6). World Scientific.

[18] Gurney, K. (2018). An introduction to neural networks. CRC press.

[19] Shmilovici, A. (2009). Support vector machines. In Data mining and knowledge discovery handbook (pp. 231-247). Springer, Boston, MA.

[20] Quinlan, J. R. (1996). Learning decision tree classifiers. ACM Computing Surveys (CSUR), 28(1), 71-72.