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

ارائه روشی موثر جهت بهبود و صرفه‌جویی مصرف انرژی در ساختمان‌های هوشمند

شکوفه جهان بزرگی مطلق - نسیم حمیدیان

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 تحقیق بر آن شدیم تا با استفاده از تحلیل رفتار ساکنان در ساختمان و روش‌های داده کاوی به پیش‌بینی میزان انرژی مصرفی آنها بپردازیم.

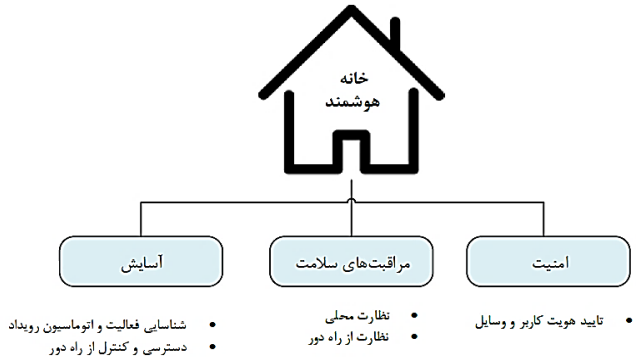
کلمات کلیدی: ساختمان‌های هوشمند – مصرف انرژی – رفتار ساکنان- پیش‌بینی - داده کاوی

۱ - مقدمه

یکی از عامل‌های مهم و حیاتی در توسعه اقتصادی و اجتماعی هر کشور انرژی می‌باشد که با افزایش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی تقاضا برای آن افزایش پیدا می‌کند. با پیشرفت جوامع و توسعه فعالیت‌های اقتصادی، انرژی برق بعنوان یکی از انواع انرژی نقش مؤثری بر فعالیت بنگاه‌ها و ارائه خدمات به مصرف کنندگان ایفا می‌نماید. بنابراین با نقش روزافزون انرژی برق در اقتصاد جهانی و همچنین نقش چندگانه‌ای که در تولید و مصرف دارد روز به روز از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. آمارها نشان می‌دهد که مصرف برق تا سال ۲۰۳۰ با رشد متوسط سالیانه ۲/۷ درصد رو به رو خواهد بود درحالی که رشد متوسط سالیانه انرژی را دو درصد پیش‌بینی کرده‌اند. براساس تحقیقات صورت گرفته بخش عمده مصرف برق در بخش خانگی می‌باشد؛ بنابراین شناسایی عوامل تأثیرگذار بر تقاضای این بخش از اهمیت زیادی برخوردار است. در سال‌های اخیر خانه هوشمند یکی از شاخه‌های مهم تحقیقاتی به شمار می‌رود[۲،۱]. خانه هوشمند در واقع مجموعه‌ای از تکنولوژی‌ها و سرویس‌ها جهت بهبود کیفیت زندگی در شبکه خانگی است به نحوی که توانایی آشکاری در راحت‌تر کردن زندگی و افزایش رفاه ساکنین داشته و باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی برق می‌شوند. یکی از مزایای خانه‌های هوشمند، کاهش مصرف انرژی است بدین صورت که با نصب سنسورهای آنها بر روی شبکه‌های کامپیوتری و کنترل سیستم بدون نیاز به کابل کشی از هزینه کمتری برخوردار می‌باشد. سیستم‌های مدیریت هوشمند انرژی در ساختمان با توجه به میزان مصرف انرژی، میزان نور و دمای بیرون قادر خواهند بود روشی جهت مصرف انرژی با قیمت کمتر همراه با صرفه‌جویی در مصرف انرژی ارائه دهند[۳]. این سیستم‌ها در واقع با تنظیم عملکرد ساعتی و با تنظیم عملکرد یک دوره قادر هستند از مصرف بیش از اندازه انرژی برق جلوگیری کنند. علاوه بر عوامل اقتصادی عوامل دیگری همچون بالا بودن رشد جمعیت و تقاضای بیشتر برای انرژی، محدود بودن منابع انرژی به دلیل تحلیل پذیر بودن منابع، استفاده از الگوهای غلط مصرف انرژی و در نتیجه به هدر رفتن میزان زیاد انرژی، وجود نداشتن سیستمی برای بازیافت انرژی، افزایش گازهای گلخانه‌ای و باران‌های اسیدی نیز جهت کاهش مصرف انرژی از اهمیت بالایی برخوردار هستند[۴]. در نتیجه طی سال‌های اخیر محققین در تلاش هستند که روش‌هایی جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی خانه‌های هوشمند ارائه دهند.

۲- خانه هوشمند

پروژه‌های خانه‌های هوشمند شامل ایده‌ها، کارکردها و برنامه‌های مختلفی هستند که به عنوان یکی از حوزه‌های اساسی IoT در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. خانه‌های هوشمند با تمرکز بر روی نیازها و انتظارات کاربر، در شاخه‌های مختلف تخصصی گسترش می‌یابند. خانه‌های هوشمند خدمات آسایشی، مراقبت‌های بهداشتی و امنیتی را به ساکنان خود ارائه می‌دهند. خدمات آسایشی و مراقبت‌های بهداشتی می‌توانند به صورت محلی و همچنین از راه دور ارائه شود. اقدامات امنیتی نه تنها خدمات احراز هویت را به کاربر ارائه می‌دهند بلکه دسترسی غیرمجاز به دستگاه‌های خانگی را نیز محدود می‌کند[۵].



شکل ۱: طبقه‌بندی سرویس‌های خانه هوشمند

مزایای خانه‌های هوشمند را در چهار گروه دسته می‌کنند :

- مربوط به سلامتی
- محیط زیست
- مالی
- روانشناختی (مانند رفاه و اجتماع)

بخش‌های مختلف یک خانه هوشمند عبارتند از :

- خدمات مربوط به امنیت
- خدمات رفاهی
- سرگرمی
- مراقبت بهداشتی

انتقال به خانه‌های هوشمند مستلزم یک تغییر فرم جمعی و شاید بالقوه عمیق در ساختار، استراتژی‌ها، اکوسیستم‌ها و فناوری‌های شهری است. خانه کاملا هوشمند هنوز کاملا پدیدار نشده است و ما هنوز مدل‌های کسب وکار روشنی از چگونگی به نتیجه رسیدن صنعت خانه‌های هوشمند و تکنولوژی‌های کمکی به بازار انبوه را بدست نیاورده‌ایم. شکل (۱) یک دسته‌بندی از پروژه‌های خانه هوشمند را با توجه به خدمات در نظر گرفته شده ارائه می‌دهد[۶].

۳- مدیریت انرژی در ساختمان

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 [۷]:

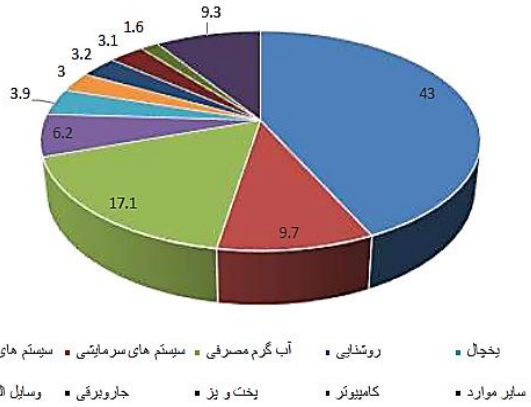
- بهره‌گیری حداکثر از انرژی خورشیدی با استفاده از سیستم‌های فعال[1] و غیرفعال[2]
- بهره‌گیری حداکثر از دیگر انرژی‌های تجدیدپذیر
- بازیافت انرژی
- ذخیره‌سازی انرژی
- کاربرد تجهیزات مکانیکی و الکتریکی (تأسیسات مکانیکی و الکتریکی) با بازده انرژی بالا در ساختمان
- بهره‌گیری از سیستم‌های هوشمند برای انطباق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

شکل (۲) 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

[1] Active solar

[2] Passive solar

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 ۲: میزان انرژی مصرفی در بخش‌های مختلف ساختمان

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:

1-سیستم تهویه مطبوع[۳]

2-سیستم اطفاء حریق[۴]

3-سیستم ایمنی[۵]

4-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.

۴- سیستم‌های مدیریت انرژی هوشمند خانه HEMS

با ورود شبکه هوشمند و ظهور زیرساخت‌های ارتباطی و اطلاعات پیشرفته، ارتباط دوطرفه، زیرساخت‌های اندازه‌گیری پیشرفته، سیستم‌های ذخیره انرژی و همچنین شبکه‌های محلی، الگوهای مصرف برق و صرفه‌جویی در انرژی متحول می‌شود. همراه با ظهور فن‌آوری‌های اتصال ماشین‌های برقی به شبکه و توزیع گسترده انرژی‌های تجدیدپذیر، یک انتقال بزرگ برای الگوی مدیریت انرژی از حالت توزیع متمرکز سنتی به بخش پاسخ‌گویی تقاضای مستقل و سیستم‌های انرژی با منابع انرژی تجدیدپذیر و ذخیره شده وجود دارد. در زیر ساختار شبکه هوشمند پایدار، خانه هوشمند با سیستم مدیریت انرژی خانه HEMS نقش مهمی در بهبود کارایی، اقتصاد، قابلیت اطمینان و حفاظت از انرژی برای سیستم‌های توزیع دارد. در زیر شاخه‌های مدل شبکه هوشمند، دستگاه‌های AMI[۶] یک ارتباط دوطرفه قابل اعتماد بین تجهیزات برق و مصرف کنندگان خانگی را فراهم می‌کنند و این فرصت را با اهداف اقتصادی خانه‌های هوشمند فراهم می‌کند تا منابع مربوط به تقاضا را با تغییر مصرف برق خود در طول دوره‌های بارگیری پیک، در پاسخ به تغییرات قیمت برق، مدیریت کنند. انگیزه‌های اقتصادی عبارتند از صرفه‌جویی در صورت‌حساب برق، بهبود بهره‌وری انرژی‌های تجدیدپذیر در خانهٔ هوشمند می‌باشند. از این رو HEMS هوشمند به عنوان سیستم بهینه ارائه خدمات مدیریت انرژی تعریف می‌شود تا به طور موثر نظارت و مدیریت تولید، ذخیره‌سازی و مصرف برق را در خانه‌های هوشمند کنترل می‌کند. با استفاده از تکنیک‌های ارتباطی و سنجش در HAN[۷]ها مجموعه اطلاعات مصرف انرژی خانگی نگهداری می‌شود و نظارت و کنترل از راه دور در زمان عملیاتی مختلف دستگاه‌های هوشمند حتی با استفاده از یک رایانه شخصی یا تلفن هوشمند می‌تواند انجام شود علاوه بر این HEMS می‌تواند نه تنها وضعیت بهینه استفاده از

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

[6] Advanced metering infrastructure
[7] Home area network

لوازم خانگی بلکه خدمات ذخیره و مدیریت انرژی برای منابع انرژی توزیع شده را فراهم کند.

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. برخی از کاربردهای داده کاوی در محیط‌های واقعی عبارتند از [۸،۹] :

- کاربردهای معمول تجاری : شامل تحلیل و مدیریت بازار، تحلیل سبد بازار، بازاریابی هدف، فهم رفتار مشتری، تحلیل و مدیریت ریسک
- مدیریت وکشف تقلب : کشف تقلب تلفنی، کشف تقلب‌های بیمه‌ای و اتومبیل، کشف تقلب‌های کارت اعتباری، کشف تراکنش‌های مشکوک مالی
- متن کاوی : پالایش متن (نامه‌های الکترونیکی، گروه‌های خبری، جستجوی مقالات و موضوعات خاص و غیره)
- پزشکی : کشف ارتباط علامت و بیماری، تحلیل آرایه‌های DNA و تصاویر پزشکی
- ورزش : آمارهای ورزشی
- وب کاوی : پیشنهادصفحات مرتبط، بهبود ماشین‌های جستجوگر یا شخصی‌سازی حرکت در وب سایت

۶ – شبکه عصبی مصنوعی

در سال ۱۹۴۳ شبکه‌های عصبی مصنوعی برای اولین بار توسط مک کولاک و پیتس معرفی شدند[۱۰]. فلسفه اصلی شبکه عصبی مصنوعی، مدل کردن ویژگی‌های پردازشی مغز انسان برای تقریب زدن روش‌های معمول محاسباتی با روش پردازش زیستی است به بیان دیگر شبکه عصبی مصنوعی روشی است که دانش ارتباط بین چند مجموعه داده را از طریق آموزش فرا گرفته و برای استفاده در موارد مشابه ذخیره می‌کند. این پردازنده از دو جهت مشابه مغز انسان عمل می‌کند:

- یادگیری شبکه عصبی از طریق آموزش صورت می‌گیرد
- وزن‌دهی مشابه با سیستم ذخیره‌سازی اطلاعات در شبکه عصبی مغز انسان انجام می‌گیرد

با استفاده از دانش برنامه نویسی رایانه می‌توان ساختار داده‌ای طراحی کرد که همانند یک نورون عمل نماید سپس با ایجاد شبکه‌ای از این نورون‌های مصنوعی به هم پیوسته ایجاد یک الگوریتم آموزشی برای شبکه و اعمال این الگوریتم به شبکه آن را آموزش داد. این شبکه‌ها برای تخمین و تقریب، کارایی بسیار بالایی از خود نشان داده‌اند. گستره کاربرد این مدل‌های ریاضی بر گرفته از عملکرد مغز انسان بسیار وسیع می‌باشد که به عنوان چند نمونه کوچک می‌توان استفاده از این ابزار ریاضی در پردازش سیگنال‌های بیولوژیکی، مخابراتی و الکترونیکی تا کمک در نجوم و فضانوردی را نام برد. شبکه‌های عصبی به دلیل مزایای فوق‌العاده‌ای که دارند مورد توجه قرار گرفته‌اند برخی از این مزایا عبارتند از [۱۱]:

۱. قدرت یادگیری و انطباق: شبکه‌های عصبی با توجه به پاسخ‌های موجود در محیط مربوط به موضوع، می‌توانند یاد بگیرند که چگونه به ورودی‌ها پاسخ دهند و این یادگیری را در حافظه خود نگهداری می‌کنند.

۲. پردازش زمینه‌ای اطلاعات: دانش هر موضوع توسط حالت فوق‌العاده ساختارمند و فعال یک شبکه عصبی بیان می‌شود. هر نرون موجود در شبکه مستعد تاثیرپذیری فعالیت کلی نرون‌های دیگر است در نتیجه اطلاعات زمینه‌ای طبیعتا بوسیله یک شبکه عصبی توزیع می‌شود.

۳. تحمل خطا: عملکرد یک شبکه عصبی در صورت بروز شرایط نامساعد، بطور مطلوبی تنزل می‌یابد. اصولا یک شبکه عصبی در صورت بروز مشکل دچار یک نقصان نسبتا مطلوب در عملکرد می‌شود نه یک شکست مصیبت بار.

٤. مصرف انرژی کم: شبکه عصبی با توجه به پردازش موازی اطلاعات و حفظ اطلاعات فرا گرفته شده انرژی کمی مصرف شده است.
٥. شباهت با نرون بیولوژیکی: طرح یک شبکه عصبی، ملهم از مغز است که شاهد زنده می‌باشد. در شبکه عصبی نه تنها پردازش موازی اطلاعات و تحمل خطا بصورت فیزیکی امکان پذیر است بلکه در آن سرعت و قدرت نیز نهفته است که مناسب یک واحد بیولوژیکی است.
٦. یکنواختی تحلیل و طراحی: اصولا شبکه‌های عصبی برای پردازش اطلاعات از یکنواختی برخوردار هستند که ناشی از ماهیت نرون‌ها، الگوریتم‌های یادگیری و سلولی بودن شبکه است.

۷– الگوریتم گوریل مصنوعی‌های مصنوعی[8]

الگوریتم گوریل مصنوعی‌های مصنوعی در سال ۲۰۲۱ توسط عبداله زاده و همکاران ارائه شد[۱۲]. این الگوریتم براساس زندگی اجتماعی گوریل مصنوعی‌ها تدوین شده است. گوریل مصنوعی‌ها فعالیت‌هایی مانند استراحت، مسافرت و غذا خوردن در طول روز را انجام می‌دهند. رهبر گروه گوریل مصنوعی‌ها، گوریل مصنوعی پشت نقره‌ای یک گوریل مصنوعی نر بالغ و قوی است معمولاً بیشتر از ۱۲ سال سن دارد و از موهای نقره‌ای پشتش شناخته می‌شود و همه تصمیم‌ها را می‌گیرد. در درگیری‌ها بین اعضای گروه نقش میانجی را ایفا می‌کند و برای حرکت گروه تصمیم می‌گیرد. هر گوریل مصنوعی پشت نقره‌ای رهبر یک گروه ۵ تا ۳۰ عددی است. الگوریتم گوریل مصنوعی‌های مصنوعی از مکانیزم‌های مختلفی برای عملیات بهینه‌سازی (اکتشاف و استخراج) استفاده می‌کند. در مکانیزم‌های مورد استفاده در مرحله اکتشاف از سه مکانیزم مختلف مهاجرت به مکان نامعلوم، مهاجرت به مکان شناخته شده و حرکت به سمت گوریل مصنوعی‌های دیگر استفاده شده است. هریک از این سه مکانیزم طبق یک روش کلی انتخاب می‌شوند. با توجه به مکانیزم‌های مورد استفاده، هر یک از مکانیزم‌ها توانایی فوق‌العاده‌ای به الگوریتم گوریل مصنوعی‌های مصنوعی می‌دهد. مکانیزم اول این امکان را به وجود می‌آورد که الگوریتم بتواند کل فضای مسأله را به خوبی کنترل کند مکانیزم دوم عملکرد اکتشافی الگوریتم گوریل مصنوعی‌های مصنوعی را بهبود می‌بخشد و در نهایت، سوم الگوریتم گوریل مصنوعی‌های مصنوعی را در فرار از نقاط بهینه محلی تقویت می‌کند.

۸- پیشینه تحقیق

در مرجع [۱۳] 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 [۱۴] 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 [۱۵] 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.

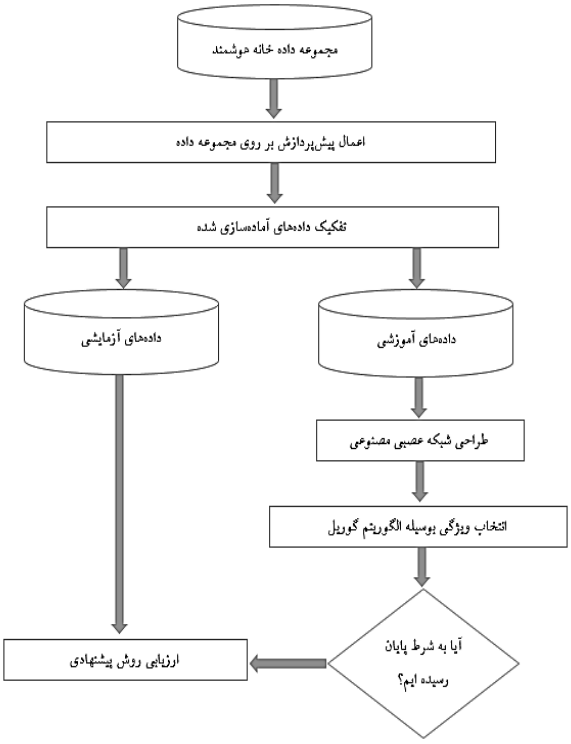
در مرجع [۱۶] یک سیستم مدیریت انرژی مبتنی بر IoT براساس زیرساخت های محاسبات لبه با یادگیری عمیق طراحی شده. همچنین، یک مرور کلی از مدیریت انرژی مبتنی بر IoT در شهرهای هوشمند توصیف شده است. سپس مدل چارچوب و نرم افزاری سیستم مبتنی بر IoT با محاسبات لبه ارائه شده است. پس از آن، یک برنامه زمانبندی انرژی کارآمد با آموزش عمیق تقویت برای چارچوب پیشنهادی ارائه شده. در نهایت اثربخشی طرح پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در مرجع [۱۷] 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.

[8] Artificial Gorilla Troops Optimizer (GTO)

۹- پیاده سازی روش پیشنهادی

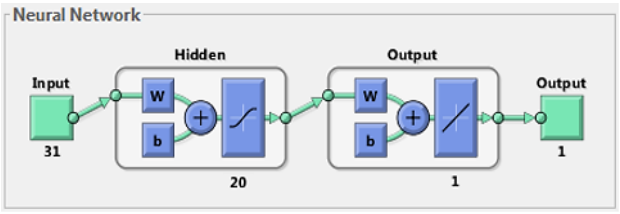
با توجه به اینکه بیشترین بخش مصرف انرژی در بخش ساختمان‌ها است نیاز به اجرای راه‌حل‌های جدید جهت صرفه‌جویی مصرف انرژی در ساختمان‌ها وجود دارد. بر این اساس در این تحقیق قصد داریم با استفاده از تحلیل رفتار ساکنان در ساختمان و الگوریتم گوریل مصنوعی به پیش‌بینی میزان انرژی مصرفی آنها بپردازیم. فلوچارت روش پیشنهادی در شکل (۳) آمده است.



شکل ۳: فلوچارت روش پیشنهادی

جهت پیاده‌سازی روش پیشنهادی بعد از دریافت مجموعه داده خانه هوشمند[9] (این مجموعه داده دارای ۱۰۹۵ نمونه بوده و تعداد نقاط مورد بررسی که بیانگر ویژگی‌های این مجموعه 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.) بر روی آن پیش‌پردازش اعمال شد لذا با توجه به مجموعه داده موردنظر به نرمال‌سازی مجموعه داده موجود پرداختیم که برای این منظور از روش حداقل-حداکثر و در بازه بین صفر و یک داده‌ها مورد نرمال‌سازی قرار گرفتند؛ در مرحله بعد پس از انجام پیش‌پردازش به تقسیم‌بندی داده‌ها پرداختیم و توسط روش هولداوت داده‌ها به دو مجموعه آموزشی و آزمایشی با نسبت ۳۰ به ۷۰ درصد تقسیم شدند.

در ادامه پس از طراحی شبکه عصبی مصنوعی به انتخاب ویژگی‌های موثر توسط الگوریتم گوریل مصنوعی پرداخته و پس از آن شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده با استفاده از داده‌های آموزشی و ۳۱ ویژگی یا سنسور انتخابی که بیشترین عملکرد را در مصرف انرژی روزانه داشتند مورد آموزش قرار گرفته شد و در نهایت پس از رسیدن به شرط خاتمه و مشخص شدن تعداد ویژگی‌های برتر شبکه عصبی طراحی شده که در شکل (۴) نشان داده شده است توسط داده‌های آزمایشی مورد ارزیابی قرار گرفته شد.



شکل ۴: معماری شبکه عصبی پیشنهادی

جهت بررسی میزان موفقیت و کارایی روش پیشنهادی در این تحقیق جهت پیش‌بینی میزان انرژی مصرفی در خانه‌های هوشمند از معیارهای زیر استفاده شد.

- **معیار دقت**

عبارت است از تعداد نمونه‌هایی که به درستی توسط مدل پیشنهادی تشخیص داده می‌شوند نسبت به کل نمونه‌ها.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + \mathrm{TN} + FP + FN} \times 100$$

- **معیار ویژگی**

احتمال نمونه‌های منفی درست پیش‌بینی شده مورد نظر توسط مدل پیشنهادی می‌باشد.

$$Specificity = \frac{TN}{FP + TN} \times 100$$

[9] https://figshare.com/articles/REFIT_Smart_Home_dataset

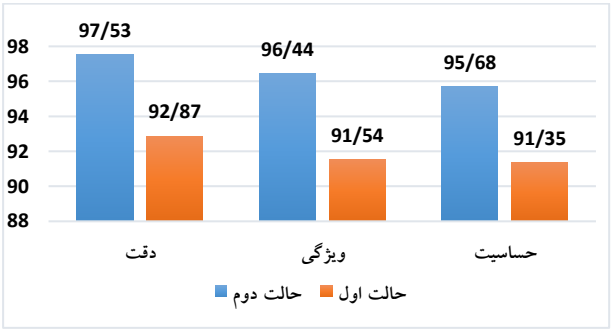
- **معیار حساسیت**

احتمال نمونه‌های مثبت درست پیش‌بینی شده مورد نظر توسط مدل پیشنهادی می‌باشد که نحوه محاسبه آن در رابطه ۵-۳ نمایش داده شده است.

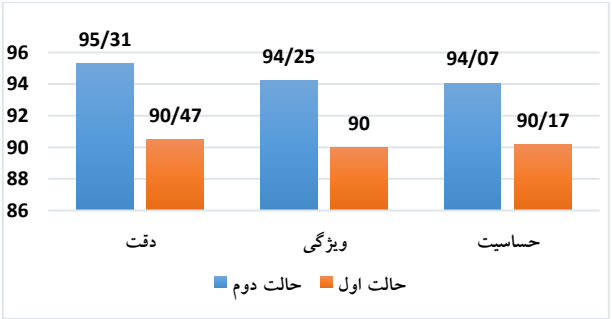
$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} \times 100$$

۱۰- ارزیابی نتایج

روش پیشنهادی در این تحقیق جهت پیش‌بینی میزان انرژی مصرفی در خانه‌های هوشمند در دو حالت بررسی و نتایج آن مورد تحلیل قرار گرفت. در حالت اول شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده بدون اعمال انتخاب ویژگی توسط الگوریتم گوریل مصنوعی و با تمامی ۴۷ ویژگی موجود در مجموعه داده موردنظر به تعداد ۱۰۰۰ مرتبه آموزش داده شد. در حالت دوم که روش پیشنهادی ما در این تحقیق می‌باشد شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده با ۳۱ ویژگی که توسط الگوریتم گوریل مصنوعی انتخاب شده است مورد آموزش قرار گرفت. در ادامه به مقایسه نتایج بدست آمده در حالات اول و دوم برای داده‌های آموزشی و آزمایشی خواهیم پرداخت.



شکل ۵: مقایسه نتایج بدست آمده برای داده‌های آموزشی



شکل ۶: 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 و الگوریتم گوریل مصنوعی به پیش‌بینی میزان انرژی مصرفی آنها پرداختیم. بر این اساس از الگوریتم گوریل مصنوعی جهت انتخاب ویژگی‌های موثر جهت پیش‌بینی میزان انرژی مصرفی در خانه هوشمند استفاده شد. نتایج بدست آمده با انتخاب ۳۱ ویژگی موثر حاکی از آن است که دقت روش پیشنهادی در حالت دوم که از الگوریتم گوریل مصنوعی جهت انتخاب ویژگی‌های موثر استفاده نمودیم نسبت به حالت اول که از تمامی ویژگی‌های مجموعه داده استفاده شده است به میزان ۴.۶۶ درصد افزایش داشته است همچنین مقادیر معیارهای ویژگی و حساسیت نیز در حالت دوم به ترتیب ۴.۹۰ درصد و ۴.۳۳ درصد نسبت به حالت اول بیشتر شده است.

مراجع

[1] Adams, J. N., Bélafi, Z. D., Horváth, M., Kocsis, J. B., & Csoknyai, T. (2021). How smart meter data analysis can support understanding the

Artificial intelligence evolution in smart buildings for energy efficiency. *Applied Sciences*, *11*(2), 763.

[10] Stopps, H., & Touchie, M. F. (2020). Managing thermal comfort in contemporary high-rise residential buildings: Using smart thermostats and surveys to identify energy efficiency and comfort opportunities. *Building and Environment*, *173*, 106748.

[11] Aguilar, J., Garces-Jimenez, A., R-moreno, M. D., & García, R. (2021). A systematic literature review on the use of artificial intelligence in energy self-management in smart buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *151*, 111530.

[12] Hakimi, S. M., & Hasankhani, A. (2020). Intelligent energy management in off-grid smart buildings with energy interaction. *Journal of Cleaner Production*, *244*, 118906.

[13] 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.

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

[15] 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.

[16] 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.

[17] 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.

impact of occupant behavior on building energy performance: A comprehensive review. *Energies*, *14*(9), 2502.

[2] Bae, C., Lee, J. Y., Kim, D., & Chun, C. (2023). A Study on the Impact of Residents' Energy Usage Behavior on Heating Energy Consumption Based on Smart Meter Data and Surveys. *Energy and Buildings*, 113634.

[3] Rafsanjani, H. N., & Ghahramani, A. (2020). Towards utilizing internet of things (IoT) devices for understanding individual occupants' energy usage of personal and shared appliances in office buildings. *Journal of Building Engineering*, *27*, 100948.

[4] Laskari, M., de Masi, R. F., Karatasou, S., Santamouris, M., & Assimakopoulos, M. N. (2022). On the impact of user behaviour on heating energy consumption and indoor temperature in residential buildings. *Energy and Buildings*, *255*, 111657.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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.

[8] Zhao, D., McCoy, A. P., Du, J., Agee, P., & Lu, Y. (2017). Interaction effects of building technology and resident behavior on energy consumption in residential buildings. *Energy and Buildings*, *134*, 223-233.

[9] Farzaneh, H., Malehmirchegini, L., Bejan, A., Afolabi, T., Mulumba, A., & Daka, P. P. (2021).