نهمین کنفرانس ملی مباحث نوین در کامپیوتر و فناوری اطلاعات
9th National Conference on Advanced Topics in Computer and Information Technology
۲۰ آذر ماه ۱۴۰۴

استفاده از الگوریتم گوزن جهت هوشمندسازی میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های هوشمند

علیرضا صفائی
گروه کامپیوتر، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران
alireza.safaei@jau.ac.ir

چکیده : 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. 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. 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. لذا در این مقاله با استفاده از تحلیل رفتار ساکنان در ساختمان و روش‌های داده کاوی و الگوریتم گوزن مصنوعی به پیش‌بینی میزان انرژی مصرفی آنها بپردازیم.

کلمات کلیدی: ساختمان‌های هوشمند – مصرف انرژی– الگوریتم گوزن- پیش‌بینی

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[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[۲]. 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[۳]. در نتیجه طی سال‌های اخیر محققین در تلاش هستند که روش‌هایی جهت صرفه‌جویی در مصرف برق خانه‌های هوشمند ارائه دهند. در این راستا استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی از روش‌های جدیدی می‌باشد که امروزه توسط محققین جهت پیش‌بینی قیمت انرژی برق استفاده می‌شود.

۲- خانه هوشمند

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. از مزایای خانه هوشمند می‌توان به موارد زیر اشاره نمود [۴،۵]:

- 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[۶].

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 [۷]:

- بهره‌گیری حداکثر از انرژی خورشیدی با استفاده از سیستم‌های فعال[۱] و غیرفعال[۲]
- 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

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[۳]
۲-سیستم اطفاء حریق[۴]
۳-سیستم ایمنی[۵]
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– شبکه عصبی مصنوعی

در سال ۱۹۴۳ شبکه‌های عصبی مصنوعی[۶] برای اولین بار توسط مک کولاک و پیتس معرفی شدند [۸]. شبکه‌های عصبی از خانواده معماری‌های کاملا موازی الهام گرفته شده از مغز انسان می‌باشد که قادر به یادگیری و تصمیم‌گیری از نمونه‌ها است. در این مدل شبکه تجربه تولید راه حل با معنا در مسائلی که حتی زمانی که داده‌های ورودی حاوی خطا و یا نواقص هستند وجود دارد. اساسا عوامل یک شبکه عصبی مشابه سلول‌های عصبی[۷] مغز انسان بوده و از عناصر محاسباتی خیلی ساده در لایه‌ها تشکیل شده است. یک شبکه عصبی معمولی شامل لایه ورودی[۸]، لایه پنهان[۹] و لایه خروجی[۱۰] است. هرسلول عصبی در لایه ورودی مقدار یک متغییر مستقل را نشان می‌دهد. سلول های عصبی در لایه پنهان فقط برای اهداف محاسباتی هستند و در نهایت خروجی هرکدام از سلول‌های عصبی مقدار متغییر وابسته را محاسبه می‌کند. شاخصی به عنوان وزن در مجموعه‌ای از اتصالات بین سلول‌های عصبی[۱۱] وجود دارد. این وزن‌ها، بارها در آموزش[۱۲] شبکه‌های عصبی برای رسیدن به راه حل مناسب تنظیم می‌شود. اتصال[۱۳] سلول‌ها باهم، رفتار شبکه عصبی را تعریف می‌نماید. هدف اصلی از یادگیری شبکه، تعیین بردار وزن است. اندازه تنظیم برای وزن یادگیری، یک تابعی از پارامترهای مجموعه شبکه است.

۶ – الگوریتم گوزن

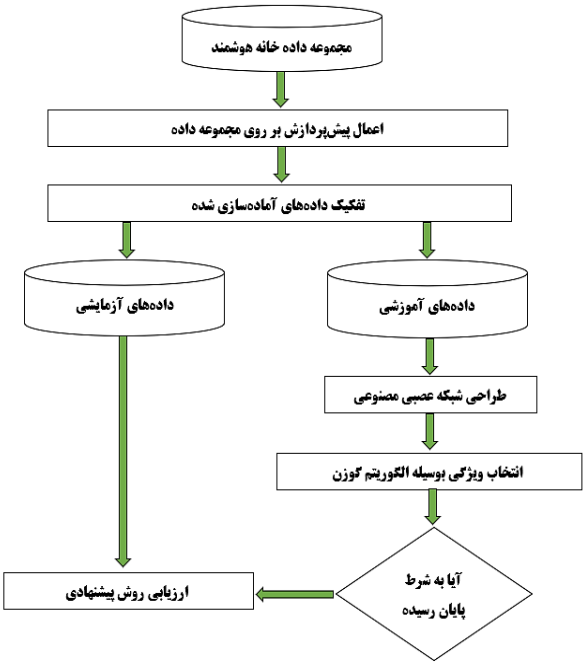
الگوریتم گوزن قرمز یا RDA[۱۴] مانند سایر فراکتشافی‌ها با یک جمعیت تصادفی اولیه شروع می‌شود که همتای گوزن‌های قرمز یا RD[۱۵]ها

[1] Active solar
[2] Passive solar
[3] Heating, Ventilation and Air-Conditioning (HVAC)
[4] Fire safety
[5] Security
[6] Artificial Neural Networks
[7] Neurons
[8] Input layer
[9] Hidden layer
[10] Output layer
[11] Nerve cell
[12] Train
[13] Connection
[14] Red Deer Algorithm
[15] Red Deer

است[۹]. جمعیت گوزن به دو نوع گوزن‌های ماده و نر تقسیم می‌شود. یکی از رفتارهای مهم خیره کننده این حیوان در فصل اصلاح نژادی اتفاق می‌افتد. نرها به طور متوالی و با صدای بلند نعره می‌کشند. ماده‌ها نرخ نعره بلند تا کم را ترجیح می‌دهند ولی نعره‌ها با گام پایین باشند. نرخ نعره با موفقیت تولید مثل و توانایی مبارزه رابطه مثبت دارد. گوزن ماده‌ای که نره‌های با نرخ‌های نعره بالا را بر می‌گزینند ممکن است فشار انتخابش را بر ماده برای جفت‌گیری با نرهای منعکس نماید که در توافقات با دیگر نرها موفقیت‌آمیز هستند یا نشان می‌دهند که ماده‌ها با نرهایی جفت‌گیری می‌کنند که به راحتی قرار می‌گیرند. رقابت بین نرها برای دسترسی و جفت‌گیری می‌تواند به الگوهای مشابه جفت‌گیری مربوطه همانند یک گزینه شرکت پذیر منجر شود. محل جفت‌گیری بعد از چذب گروه نرها توسط ماده‌ها شکل خواهد گرفت. قوی‌ترین نر فرمانده محل جفت‌گیری خواهد بود. فرماندهان از گوزن‌های ماده در محل جفت‌گیریشان و قلمروشان محافظت می‌کنند. آنها تنها در طول فصل جفت‌گیری پاییز در زمانی که جمع می‌شوند و از حرمسراها دفاع می‌کنند، نعره می‌کشند. رقابت نرها برای فرمانده شدن از طریق یک جنگ قابل پیش‌بینی مورد توجه قرار می‌گیرد. یک نر در رابطه با فرماندهان و گوزن‌های قرمز نر به نر دیگر نزدیک می‌شود و در موقعیت قابل رویت می‌ایستد و به سمت او نعره می‌زند. نزدیک شوند پاسخ می‌دهد و معمولا نعره‌ها به مدت چند دقیقه به طول می‌کشد. اگر رقابت وارد مرحله دوم شود نزدیک شونده جلو می‌رود و برای دیدن او حرکت می‌کند. آنها در اکثر موارد به صورت پهلو به پهلو و معمولا زوایای راست در مسیری راه می‌روند که نزدیک شوند از آن مسیر وارد می‌شود. در هر مرحله در طول راه رفتن ممکن است از طریق چرخش به صورت حریفش و پایین آوردن شاخش دعوت شود. هر حیوان در ادامه تلاش می‌کند تا به سمت حرفش بچرخد بنابراین حریف دوم در شیب در زیر او قرار می‌گیرد و مراحل مبارزه به سرعت به چرخش در می‌آید. در نهایت برنده فرمانده حرمسرا خواهد شد و به ماده‌هایش دست می‌یابد. این واقعیت به فعالیت‌های تهییج نیروی جنسی منجر می‌شود که چندین مطالعه در سه دهه اخیر به این موضوع پرداختند. دیگر مشخصه مهم گوزن نر به رفتار جنسیش ربط دارد. مسیر شهوت در هر سال بی نهایت قابل پیش‌بینی است. گوزن‌های بالغ (بیش از ۵ سال) در اوسط سپتامبر که ده ماه قبلی را که در گروه‌های مجرد گذراندند نسبت به همدیگر ناشکیبا می‌شوند و افراد به مناطق جفت‌گیری سنتی حرکت می‌کنند که در آنجا جمع می‌شوند و از گروه‌های ماده‌ها دفاع می‌کنند. اوج فعالیت‌های شهوت گوزن نر در طول دوره یکسان و افت بعد از ماه اکتبر می‌باشد. یکی از محققان مهم که در مورد گوزن نر اسکاتلندی بررسی کرده است کلوتون بروک می‌باشد. او در نهایت به این نتیجه می‌رسد که فرمانده حرمسرا می‌تواند حداکثر ۲۴ پدر متولد شده تنها در دوره زمانی کوتاه در اوج تواناییشان برای باقی ماندن باشد.

۷- 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 الگوریتم‌های شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم گوزن به پیش‌بینی میزان انرژی مصرفی آنها بپردازیم. فلوچارت روش پیشنهادی در شکل (۱) آمده است.



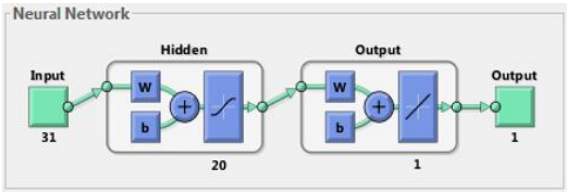
شکل ۱: فلوچارت روش پیشنهادی

بنابراین همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است پس از دریافت مجموعه داده خانه هوشمند[۱۶] (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

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

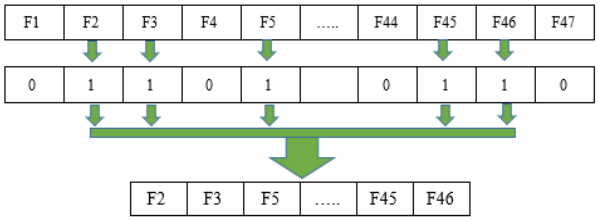
است. این نقاط دارای یک عدد هستند که بیانگر میزان انرژی مصرفی آن نقطه از ابتدای روز تا انتهای روز می‌باشد.) به اعمال پیش‌پردازش بر روی داده‌های آن پرداخته و داده‌های مورد نظر را در بازه بین صفر و یک مورد نرمال‌سازی قرار دادیم و در ادامه با استفاده از روش هولداوت داده‌ها به دو مجموعه داده آموزشی و آزمایشی با نسبت ۷۰ به ۳۰ درصد تقسیم شدند.

در ادامه پس از طراحی شبکه عصبی مصنوعی به انتخاب ویژگی‌های موثر توسط الگوریتم گوزن 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 (۲) نشان داده شده است توسط داده‌های آزمایشی مورد ارزیابی قرار گرفته شد.



شکل ۲: معماری شبکه عصبی توسط الگوریتم گوزن

عملکرد انتخاب ویژگی با استفاده از الگوریتم گوزن به این صورت است که هر گوزن یک راه‌حل پیشنهادی برای مسئله است که طول هر گوزن برابر با تعداد ویژگی‌ها و مقدار هر بعد از آن برابر با صفر یا یک است که صفر نشان دهنده عدم انتخاب ویژگی مورد نظر و یک نشان دهنده انتخاب آن ویژگی توسط گوزن می‌باشد. در شکل (۳) ساختار هر گوزن یا راه‌حل نشان داده شده است.



شکل ۳: ساختار هر گوزن یا یک راه‌حل جهت انتخاب ویژگی

پس از هر دور اجرای الگوریتم و انتخاب یک زیرمجموعه ویژگی توسط هر گوزن برای تشخیص اینکه کدام زیرمجموعه مؤثرتر است از شبکه عصبی مصنوعی جهت ارزیابی زیرمجموعه ویژگی‌های انتخابی استفاده می‌شود. لذا ویژگی‌های انتخابی توسط هر گوزن به عنوان ورودی به شبکه عصبی مصنوعی وارد می‌شود و شبکه عصبی پیشنهادی با استفاده از این ویژگی‌ها مورد آموزش قرار گرفته و تابع هزینه[۱۷] هر گوزن یا راه‌حل مسئله طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2$$

در این رابطه متغیر n برابر با تعداد نمونه‌های بکار رفته، متغیر $\hat{y}_i$ برابر با خروجی پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی و متغیر y_i برابر با خروجی واقعی است.

پس از محاسبه تابع هزینه تمامی گوزن‌ها در پایان تکرار اول موقعیت گوزن‌ها بروزرسانی شده و الگوریتم وارد تکرار بعدی می‌شود و این مراحل تا رسیدن به شرط خاتمه تکرار خواهد شد بدین ترتیب در هر تکرار شبکه عصبی با ویژگی‌های انتخابی توسط گوزن‌ها مورد آموزش قرار گرفته می‌شود و در پایان در صورت محیا بودن شرط خاتمه آموزش متوقف شده و از میان تکرارهای صورت گرفته آن راه‌حلی که دارای کمترین میزان تابع هزینه است بعنوان راه‌حل برتر انتخاب شده و بدین ترتیب با استفاده از داده‌های آزمایشی مورد بررسی قرار گرفته می‌شود.

۸- ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی

جهت بررسی میزان موفقیت و کارایی روش پیشنهادی در این تحقیق جهت پیش‌بینی میزان انرژی مصرفی در خانه‌های هوشمند از ماتریس اغتشاش[۱۸] استفاده می‌شود. ماتریس اغتشاش ابزاری مفید برای تحلیل چگونگی عملکرد روش طبقه‌بندی است. در جدول (۱) ماتریس اغتشاش نشان داده شده است :

جدول ۱: ماتریس اغتشاش

		کلاس واقعی	
		صحیح مثبت	صحیح منفی
کلاس پیش‌بینی	غلط مثبت	**TP**	**FP**
	غلط منفی	**FN**	**TN**

[17] MSE (Mean Square Error)

[18] Confusion Matrix

هر خانه از ماتریس برابر با مفاهیم زیر می‌باشد :

- TP یا True Positive[۱۹] برابر با نمونه‌های مثبتی است که روش پیشنهادی نیز به درستی آنها را مثبت تشخیص داده است.
- TN یا True Negative[20] برابر با نمونه‌های منفی است که روش پیشنهادی نیز به درستی آنها را منفی تشخیص داده است.
- FP یا False Positive[۲۱] برابر با نمونه‌های منفی است که روش پیشنهادی به اشتباه آنها را مثبت تشخیص داده است.
- FN یا False Negative[۲۲] برابر با نمونه‌های مثبتی است که روش پیشنهادی به اشتباه آنها را منفی تشخیص داده است.

در این تحقیق جهت پیش‌بینی میزان انرژی مصرفی در خانه‌های هوشمند از معیارهای زیر استفاده شد.

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

۹- نتایج بدست آمده

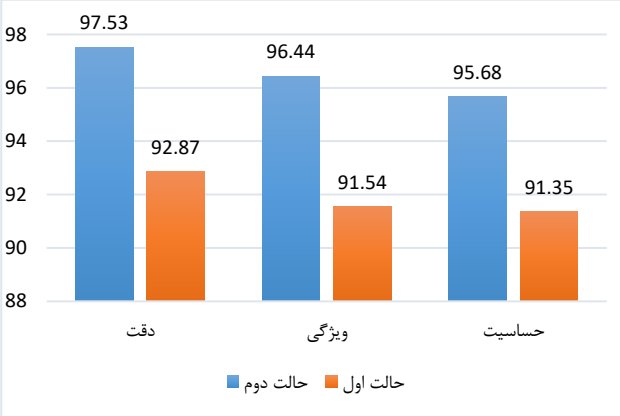
روش پیشنهادی در این تحقیق جهت پیش‌بینی میزان انرژی مصرفی در خانه‌های هوشمند در دو حالت بررسی و نتایج آن مورد تحلیل قرار گرفت.

در حالت اول شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده با تمامی ۴۷ ویژگی موجود در مجموعه داده موردنظر به تعداد ۱۰۰۰ مرتبه آموزش داده شد. در شکل (۴) نتایج بدست آمده برای داده‌های آموزشی و آزمایشی در حالت اول نشان داده شده است.

در حالت دوم که روش پیشنهادی ما در این تحقیق می‌باشد شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده با ۳۱ ویژگی که توسط الگوریتم گوزن انتخاب شده است مورد آموزش قرار گرفت که نتایج بدست آمده برای داده‌های آموزشی و آزمایشی در این حالت در شکل (۵) نشان داده شده است.

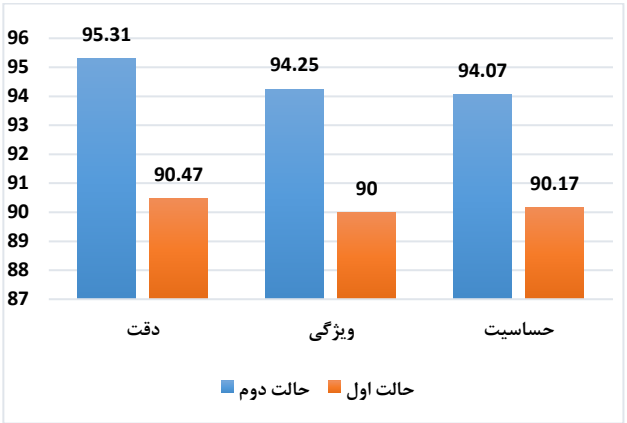
[۱۹] صحیح مثبت
[20] صحیح منفی

در ادامه نتایج بدست آمده در هر حالت به طور جداگانه در اشکال (۴) و (۵) نشان داده شده است.



شکل ۳: مقایسه نتایج بدست آمده برای داده‌های آموزشی

همانگونه که مشاهده می‌کنیم دقت بدست آمده جهت بررسی میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های هوشمند در حالت دوم که از الگوریتم گوزن 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.



شکل ۴: مقایسه نتایج بدست آمده برای داده‌های آزمایشی

همانگونه که مشاهده می‌کنیم دقت بدست آمده جهت بررسی میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های هوشمند در حالت دوم که از الگوریتم

[۲۱] غلط مثبت
[۲۲] غلط منفی

گوزن جهت انتخاب ویژگی‌های موثر استفاده نمودیم نسبت به حالت اول که از تمامی ویژگی‌های مجموعه داده استفاده شده است به میزان ۴.۸۴ درصد افزایش داشته است همچنین مقادیر معیارهای ویژگی و حساسیت نیز در حالت دوم به ترتیب ۴.۲۵ درصد و ۳.۹۰ درصد نسبت به حالت اول بیشتر شده است.

۱۰- نتیجه گیری

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. 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. 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 الگوریتم گوزن به پیش‌بینی میزان انرژی مصرفی آنها پرداختیم. 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. در نتیجه می‌توان گفت روش پیشنهادی از دقت و عملکرد بالایی جهت بررسی میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های هوشمند با استفاده از چگونگی رفتار ساکنان برخوردار است.

مراجع

[1] 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.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 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.

[5] Mir, U., Abbasi, U., Mir, T., Kanwal, S., & Alamri, S. (2021). Energy management in smart buildings and homes: current approaches, a hypothetical solution, and open issues and challenges. *IEEE Access*, *9*, 94132-94148.

[6] Chen, S., Zhang, G., Xia, X., Chen, Y., Setunge, S., & Shi, L. (2021). The impacts of occupant behavior on building energy consumption: A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *45*, 101212.

[7] Alanne, K., & Sierla, S. (2022). An overview of machine learning applications for smart buildings. *Sustainable Cities and Society*, *76*, 103445.

[8] McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. The bulletin of mathematical biophysics, 5(4), pp.115-133

[9] Yan, C., Liu, J., Liu, W., & Liu, X. (2021). Research on automobile insurance fraud identification based on fuzzy association rules. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, (Preprint), 1-14.