Computational Intelligence in Electrical Engineering
Vol. 12, No. 2, 2021
Research Paper

Optimizing the electrical energy consumed based on the behavior patterns of residents at the smart home using the data mining algorithm using the intelligent grid and renewable energy sources for the formation of an automatic intelligent residential building

Alireza rezaee [1], Behnam Moradi [2]

[1] Assistant Professor, Department of Mechatronics, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran
[2] Master of Science in Power Systems, Tehran, Iran

Abstract:
This study optimizes the consumption of electrical energy by monitoring the power consumption caused by the activities of residents at different time intervals during the day and night and stores their electricity consumption in a database to create predicted models based on machine learning methods. Modeling the energy consumption of smart buildings, and then by presenting an algorithm for machine learning based on energy efficiency management system for automatic operation of home appliances based on the previous behavior of residents, leads to the formation of automatic smart building without resident intervention. Managing and monitoring of energy supply and demand process and integration of home solar panels in the building to supply part of the energy consumption was the main advantage of implementing smart grid technology in the building under study. This study showed that 9 kWh of electricity is generated daily from home solar panels. Finally, by comparing each part of the building with a similar normal building in the presence scenario where residents have the highest energy consumption, optimization results were displayed. So that in the lighting system to 25%, the outlet system to 15%, and the cooling and heating system about 40% of energy consumption was saved without reducing the comfort level of residents.

Keywords: Behavioral algorithm of Resident-home - Automatic smart Home-Smart Grids-Renewable Energy Sources.

http://dx.doi.org/10.22108/isee.2020.119108.1278

مقاله پژوهشی

بهینه‌سازی انرژی الکتریکی مصرفی براساس الگوهای رفتاری ساکنان در خانه هوشمند با استفاده از الگوریتم داده‌کاوی با به‌کارگیری سیستم شبکه هوشمند و منابع انرژی تجدیدپذیر

علیرضا رضائی*[۱]، بهنام مرادی[۲]

۱- استادیار، گروه مهندسی مکاترونیک و ممز دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران - تهران – ایران
arrezaee@ut.ac.ir
۲-کارشناس ارشد برق سیستم‌های قدرت دانشگاه تهران – تهران- ایران
behnam.pee@yahoo.com

چکیده: این پژوهش به بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی با نظارت بر توان مصرفی ناشی از فعالیت‌های ساکنان در بازه‌های زمانی مختلف در طول شبانه‌روز و ذخیرۀ توان الکتریکی مصرفی آنها در یک پایگاه داده‌ای برای ایجاد مدل‌های پیش‌بینی‌شده براساس روش‌های یادگیری ماشین به مدل‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌های هوشمند می‌پردازد. سپس با ارائه یک الگوریتم برای یادگیری ماشین مبتنی بر سیستم مدیریت بهره‌وری انرژی برای عملکرد اتوماتیک تجهیزات خانگی براساس رفتار پیشین ساکنان به شکل‌گیری ساختمان هوشمند اتوماتیک بدون دخالت ساکنان منجر می‌شود. مدیریت و نظارت بر فرایند عرضه و تقاضا انرژی و ادغام پنل‌های خورشیدی خانگی در ساختمان برای تأمین بخشی از انرژی مصرفی، مزیت اصلی اجرای فناوری شبکه‌های هوشمند در ساختمان مطالعه‌شده بود. این تحقیق نشان داد روزانه 9 kwh انرژی الکتریکی از پنل‌های خورشیدی خانگی تولید می‌شود. درنهایت، با مقایسۀ هر بخش ساختمان با یک ساختمان عادی مشابه در سناریوی حضور که ساکنان بالاترین مصرف انرژی را دارند، نتایج بهینه‌سازی نمایش داده شد؛ به‌طوری‌که در سیستم روشنایی ۲۵٪، سیستم پریز ۱۵٪ و سیستم سرمایش و گرمایش حدود ۴۰٪ انرژی مصرفی بدون کاهش سطح آسایش ساکنان صرفه‌جویی شد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم رفتاری ساکنان ساختمان، خانه هوشمند اتوماتیک، شبکه‌های هوشمند، منابع انرژی تجدیدپذیر

۱- مقدمه

منظور از بهینه‌سازی مصرف انرژی انتخاب الگوها، اتخاذ و به‌کارگیری روش‌ها و سیاست‌هایی در مصرف انرژی الکتریکی است. ساختمان‌های مسکونی بخش مهمی از مصرف‌کنندگان انرژی الکتریکی به شمار می‌آیند. ورود تکنولوژی سیستم مدیریت هوشمند به ساختمان‌های مسکونی، تا حدودی مصرف انرژی الکتریکی را بهینه کرده است.

۲- پیشینۀ تحقیقات

سیستم مدیریت هوشمند ساختمان (BEMS)[1] سیستم یکپارچه‌ای است که از تکنولوژی‌هایی مانند رایانه‌ها، ارتباطات شبکه و سیم‌کشی برای اتصال تمام زیرسیستم‌های داخلی استفاده می‌کند که به لوازم خانگی و دیگر وسایل خانگی متصل می‌شود [1]. این سیستم دربارۀ نقش فزایندۀ هوش مصنوعی مرتبط

با ظهور فناوری‌های Big Data و قدرت محاسباتی فوق‌العاده صحبت می‌کند. نسل جدید هوش مصنوعی به

---

[1] تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۲۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۱۵
نام نویسندۀ مسئول: علیرضا رضائی
نشانی نویسندۀ مسئول: ایران- تهران- دانشگاه تهران - دانشکده علوم و فنون نوین - گروه مهندسی مکاترونیک و ممز

سرعت درحال گسترش است و دوباره به موضوعی جذاب برای تحقیقات تبدیل شده است.

با افزایش حجم داده‌ها و پیچیدگی در مدیریت و محاسبات آنها، بیشتر تحقیقات در این زمینه به نقش اساسی هوش مصنوعی در قدرت تجزیه و تحلیل داده‌های ساختمان هوشمند تأکید کردند [۲].

به این ترتیب، تکنولوژی خانه‌های هوشمند، به‌طور مؤثر بر مدیریت مصرف و بهینه‌سازی آن در خانه تمرکز می‌کنند و علاوه بر افزایش سطح راحتی و آسایش ساکنان، به تنظیم مجدد برنامهٔ روزانه و ایجاد کیفیت بالایی از شرایط زندگی کمک می‌کنند. سیستم مدیریت هوشمند خانگی که ابتدا در ایالات متحده آغاز شد، یکی از بنیادی‌ترین فناوری‌های طراحی سیستم خانه‌های هوشمند است. این میکروکنترلرها برای نظارت‌کردن بر لوازم خانگی، سیستم روشنایی و تجهیزات تهویهٔ مطبوع (گرمایش / سرمایش) با توجه به شرایط تعریف‌شده استفاده می‌شود و مطابق با نیازهای ساکنان عمل می‌کند [۳]. سیستم مدیریت هوشمند ساختمان برای فراهم‌آوردن محیط مطلوب برای ساکنان، به یادگیری رفتار و منافع ساکنان آن نیازمند است [٤].

روش‌های مدل سازی با روش‌های یادگیری ماشینی به مرحله‌ای از پردازش داده‌ها ازجمله دسته‌بندی و اولویت‌بندی با استفاده از الگوریتم‌های پیشنهادی نیاز دارد. داده‌ها همچنین با فاصله بین حداقل و حداکثر مقادیر هر ویژگی معمول شدند [٥].

برای تشخیص نواقص یا خطا در داده‌های به‌دست‌آمده و تصحیح آنها به تعریف الگوریتم مشخص برای منسجم‌کردن مشخصات ساختاری اطلاعات و ذخیره در پایگاه داده برای ساختمان‌های عمومی در مقیاس بزرگ نیاز است [٦].

در تحقیقات به‌دلیل غیرخطی‌بودن و توانایی یادگیری اطلاعات تاریخی روش‌های یادگیری ماشین انتخاب شد که نتیجهٔ آن نشان داد مصرف انرژی در ساختمان‌های عمومی، فرضیات خطی را برآورده نمی کند [۷].

در پژوهش دیگری با تمرکز بر تهیهٔ برنامه‌ای از اقدامات روزانه و هفتگی برای کاربران نهایی در ساختمان، فقط روش‌های خطی برای پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان‌های عمومی، پیشنهاد و از آنها استفاده شده است؛ اما صحت پیش‌بینی برای آن ارائه نشده است [۸].

منابع اصلی مصرف انرژی در ساختمان عمدتاً لوازم خانگی الکتریکی، تجهیزات سیستم گرمایش و خنک‌کننده، وسایل آشپزخانه و همچنین سیستم های روشنایی است. در میان آنها، عملیات گرمایش و خنک‌کننده بیش از ٥٦٪ کل مصرف برق مسکونی را تشکیل می دهد [۹]. حتی بدتر از همه، میزان چشمگیری از انرژی را به‌طور کامل ساکنان استفاده نمی کنند و اتلاف انرژی در تمام طول روز اتفاق می‌افتد.

به‌طور کلی بهترین راه‌حل برای تکمیل مزایای خانهٔ هوشمند برای کاهش تعرفه‌های خرید انرژی الکتریکی، افزایش سطح آسایش و بالابردن قابلیت اطمینان در توزیع انرژی به مصرف‌کنندگان، مدیریت سمت تقاضا، پاسخ به تقاضا، تولید توزیع‌شدهٔ بهینه، نیازمند تمرکز بر تکنولوژی به نام شبکه هوشمند[۲] است. تجهیزات شبکهٔ هوشمند در کنار مدیریت عرضه، انرژی درخواستی مصرف‌کننده‌ها را کنترل و نظارت می‌کند که با توجه به اطلاعات مصرفی در صورت کمبود عرضه، انرژی بار مصرفی را قطع یا جابه‌جا کند و به‌طور هدفمند کمبود عرضه را از منابع دیگر جبران کند.

با اجرای شبکه هوشمند در سیستم مدیریت ساختمان هوشمند می‌توان برای تأمین بخشی از انرژی تقاضاشده با توجه به موقعیت جغرافیایی ساختمان از منابع تولید تجدیدپذیر (بادی، خورشیدی یا ترکیبی) استفاده کرد. ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر باعث کاهش میزان انتشار آلودگی محیط زیست می‌شود. همچنین موجب افزایش رضایت ساکنان و کاهش هزینه‌های خرید انرژی الکتریکی آنها می‌شود. بهینه‌سازی مصرف انرژی و افزایش راحتی ساکنان، موضوع اصلی پژوهش و طرح‌های عملی و تحقیقاتی در زمینهٔ خانه‌های هوشمند شد.

پروژهٔ (MavHome) (مدیریت یک خانهٔ سازگار و همه‌جانبه)، پروژهٔ تحقیقاتی چندجانبه در دانشگاه ایالتی واشنگتن و دانشگاه تگزاس است و هدف آن، به حداکثر رساندن راحتی ساکنان و حداقل‌کردن هزینه‌های عملیاتی است [۱۰]. در پژوهش دیگری، شبیه‌سازی یک مدل از

مصرف برق خانگی بررسی شد. این مدل شامل قرارگیری استفاده از لوازم خانگی سرمایش، گرمایش، تهویه، تهویهٔ مطبوع، روشنایی و مصرف برق مرتبط با فعالیت‌های ساکنان بود. نتایج مطالعات، الگوهایی از تغییرات تقاضای انرژی، نوسانات بار و تنوع بین پیکربندی موقعیت و اندازهٔ خانوار را ارائه کرد [۱۱]. در پژوهشی دیگر، تکنولوژی شبکهٔ هوشمند برای یک خانهٔ هوشمند شامل AMI[3] (زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته) که درون تأسیسات ساختمان مستقر شده است، برای مدیریت تعرفه‌های پویا در خانه‌ها و برای آگاهی از وضعیت انرژی، منابع تولید انرژی تجدیدپذیر و همچنین HEMS[4] (سیستم مدیریت انرژی خانه) به کار گرفته شده است [۱۲]. در پژوهشی، تکنیک‌های برنامه‌ریزی و کنترل لوازم خانگی برای اجرای مدیریت سمت تقاضا با استفاده از شبکهٔ هوشمند به‌منظور کنترل مصرف برق در خانه‌ها و دفاتر ارائه شده است. تکنیک‌های استفاده‌شده، هزینهٔ مصرف انرژی را کاهش داد و مصرف‌کنندگان تشویق شدند با استفاده از روش‌های بارگذاری بار، دستگاه خود را برنامه‌ریزی کنند [۱۳]. در مطالعه‌ای مصرف انرژی الکتریکی در یک نمونه از ساختمان‌های داخلی بریتانیا بررسی شد تا روند مصرف انرژی استفاده‌شده شناسایی شود. در این مطالعه یک‌سری از تکنیک‌های تجزیه و تحلیل جدید برای بهبود درک مصرف برق داخلی معرفی شد [۱٤]. در فرانسه آزمایشگاه تحقیقاتی (G-SCOP) یک الگو از رفتارهای ساکنان در حالت‌های متفاوت در هر ساعت از شبانه‌روز ایجاد کرده است و سعی در پیش‌بینی حالت ممکن با استفاده از شبکهٔ بیزین دارد. این الگوها با بررسی دیتابیس مربوط به مانیتورینگ مصرف انرژی خانگی اتحادیه اروپا ایجاد شده است [۱۵]. در دانشگاه ویرجینیا جی[5] و همکارانش الگویی برای تنظیم دمای خانه با استفاده از ترموستات های هوشمند ساختند. این الگو روی ورود و خروج ساکنان خانه تمرکز داشت و دیتابیس مدنظر از مانیتورینگ یک خانهٔ معمولی به مدت یک ماه شکل گرفت [١٦].

پژوهش‌های انجام‌شده هرکدام تعریفی از خانه‌های هوشمند و صرفه‌جویی در مصرف انرژی و افزایش سطح آسایش ساکنان ساختمان با استفاده از تجهیزاتی می‌کنند که به حس‌کردن حضور داشتن یا نداشتن افراد در محل‌های مشخص‌شده نصب می‌شدند.

در این پژوهش در ابتدا تعریف دقیق‌تری از ساختمان هوشمند – اتوماتیک ارائه می‌شود که کاملاً هوشمندانه و براساس رفتار، سلایق و عادات ساکنان مستقر در ساختمان است. در مرحلهٔ بعدی، سناریوهای مختلفی تعریف می‌شوند و بر مبنای آن و با به‌کارگیری تکنولوژی‌های هوشمند در تولید و توزیع انرژی الکتریکی، به افزایش سطح رفاه و رضایت ساکنان این نوع خانهٔ کاملاً هوشمند اتوماتیک و صرفه‌جویی در بخش انرژی و نیز در بخش هزینه‌های ناشی از خرید انرژی ساکنان می‌پردازد. همچنین با تولید انرژی الکتریکی پاک در خود ساختمان علاوه بر ذخیرهٔ هزینه، به کاهش آلاینده‌های زیست محیطی نیز کمک خواهد شد.

۳- جمع‌آوری داده‌هایی از انرژی مصرف‌شده براساس رفتار ساکنان

برای شکل‌گیری خانهٔ هوشمند اتوماتیک در ابتدا مانیتورینگ رفتار ساکنان براساس برنامهٔ فعالیت‌های روزانه، سلیقهٔ اعضای خانه، عادات ساکنان و علایق آنها در سناریوهای مختلفی مانند (حضور – عدم حضور – ساکنان به خانه می‌آیند – مهمانی) بررسی شد. برای یادگیری رفتار ساکنان و شکل‌گیری الگوی رفتاری آنها در مواجهه با مصرف انرژی و مقدار توان الکتریکی مصرف‌شده در ساعات شبانه‌روز، اقدامات ساکنان در سیستم مدیریت خانهٔ هوشمند در مرحلهٔ نخست جمع‌آوری و ثبت شده‌اند. این کار با استفاده از اندازه‌گیرهای هوشمندی انجام شده است که روی خطوط توزیع‌شدهٔ برق در قسمت‌های مختلف ساختمان نصب شده‌اند و نوع دستگاه مصرفی، زمان مصرف، مقدار توان مصرفی اندازه‌گیری و ثبت شدند. داده‌های ثبت‌شده با اندازه‌گیرهای هوشمند توان الکتریکی مصرفی را به دو بخش تقسیم می‌کند؛ داده‌های توان الکتریکی مصرفی ثابت و توان مصرفی متغییر.

داده‌های توان مصرفی ثابت اطلاعاتی از تجهیزات الکتریکی‌اند که در طول شبانه‌روز مقدار ثابتی انرژی الکتریکی را مصرف می‌کنند. این دستگاه‌ها در خانه باید

همیشه به برق متصل باشند؛ مانند یخچال‌ها، سیستم اعلام واطفاء حریق و غیره. داده‌های توان الکتریکی مصرفی متغییر شامل اطلاعاتی از مصرف سیستم‌های الکتریکی خانگی است که براساس رفتار ساکنان در استفاده از آنها توان الکتریکی مصرف می‌کنند؛ مانند سیستم‌های روشنایی و سرگرمی، پخت‌وپز، سیستم‌های سرمایش و گرمایش و غیره. البته شرایط محیطی نیز بر مقدار توان مصرفی متغییر تأثیرگذار است؛ مانند میزان روشنایی، دما، اکسیژن و غیره؛ ازاین‌رو توان کل مصرفی در خانهٔ هوشمند اتوماتیک برابر توان مصرفی (متغیر و ثابت) محاسبه می‌شود. بعد از مدل سازی مشخصات بارهای مصرفی و توزیع خطوط برق رسانی به بخش های مختلف ساختمان، با نصب توان مترهای هوشمند روی این خطوط، اطلاعات نهایی از مصرف به‌صورت جدول زیر تعریف می‌شوند:

جدول (۱): فرم تکمیلی برای جمع‌آوری داده‌ها

مقدار توان مصرفی	طول استفاده	زمان استفاده	نوع کاربرد	نام خطوط برق‌رسانی
kwh	۰۰:۰۰	۰۰:۰۰	-	-

٤- تحلیل داده‌های ثبت‌شده

با توجه به اینکه بیشترین انرژی الکتریکی در سناریوی حضور یعنی در زمان‌هایی مصرف می‌شود که ساکنان بیشترین وقت خود را در خانه حضور دارند، در این پژوهش توان الکتریکی مصرف‌شده در سناریوی حضور بررسی می‌شود.

جمع‌آوری داده های متغییر با توجه به نوع سیستم الکتریکی خانگی انجام می‌شود. سیستم‌های الکتریکی خانگی به بخش های سیستم پریزها، سیستم روشنایی، سیستم سرمایش و گرمایش تقسیم می‌شوند. سیستم پریزها تنها با توجه اقدامات ساکنان در استفاده از تجهیزات الکتریکی توان مصرفی آنها در ساعات شبانه‌روز ثبت می‌شود؛ اما در سیستم‌های روشنایی و سرمایش و گرمایش علاوه بر اقدامات ساکنان، شرایط محیطی نیز بر مقدار توان مصرفی آنها تأثیرگذار است و در این حالت توان مصرفی متفاوتی دارند. به همین دلیل، حسگرهای روشنایی و دما مطابق با استانداردهای مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات برای تمامی قسمت‌های ساختمان در جداول شمارهٔ ۲ و ۳ به‌صورت زیر ارائه شده‌اند.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل و فرم‌دادن آنها براساس تکنیک‌ها، الگوریتم معدنی داده‌ها به دو گروه داده‌های مکرر و داده‌های دوره‌ای در سیستم پایگاه داده‌ها به شکل کلی و جامع از توان الکتریکی مصرفی هریک از سیستم‌ها در ساعات مختلف از شبانه‌روز ذخیره می‌شوند. این مقدار توان الکتریکی ثبت‌شده در اختیار سیستم شبکهٔ هوشمند خانگی با نظارت و کنترل بر مقدار انرژی درخواستی در زمان‌های مختلف اقدام به تأمین آنها با توجه به مقدار تولید منابع انرژی تجدیدپذیر خانگی می‌کند.

جدول (۲): استاندارد شدت روشنایی توسط مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات

محل	کمینه (lux)	پیشنهادی (lux)
اتاق نشیمن و پذیرایی	۷۰	۲۰۰
اتاق مطالعه	۱۵۰	۵۰۰
آشپزخانه	۱۰۰	۲۰۰
اتاق خواب	۵۰	۱۰۰
سرویس بهداشتی و حمام	۵۰	۱۰۰
روشویی و آیینه	۲۰۰	۵۰۰
پلکان	۱۰۰	۱۵۰
راهرو و آسانسور	۵۰	۱۵۰

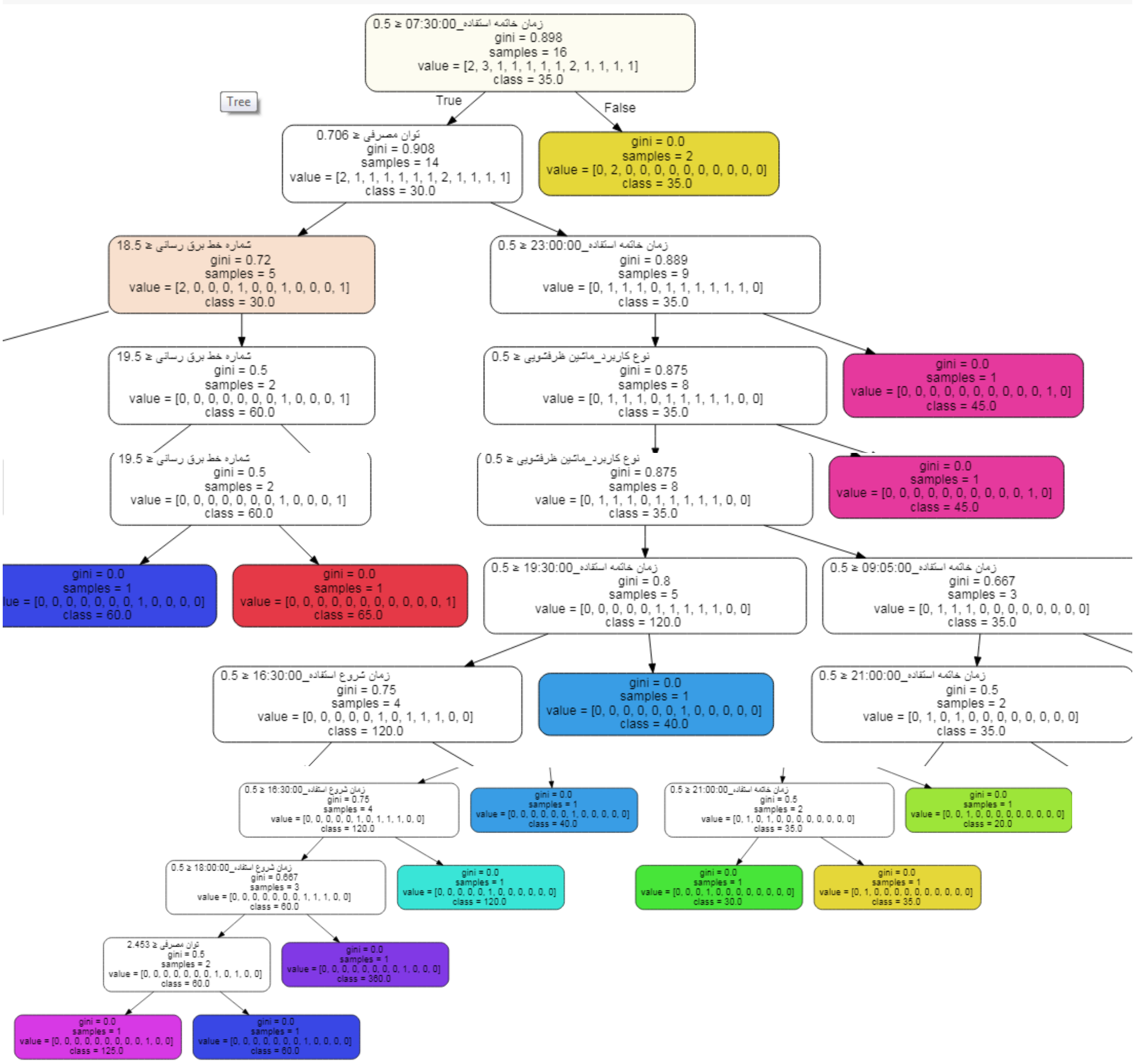
جدول (۳): استاندارد دمای ارائه‌شده توسط مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات

محل	بهار و تابستان (c°)		پاییز و زمستان (c°)	
	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه
پذیرایی	۲۳	۲٦	۲۰	۲۳
سایر اتاق‌ها	۲۵	۲۸	۱۸	۲۱

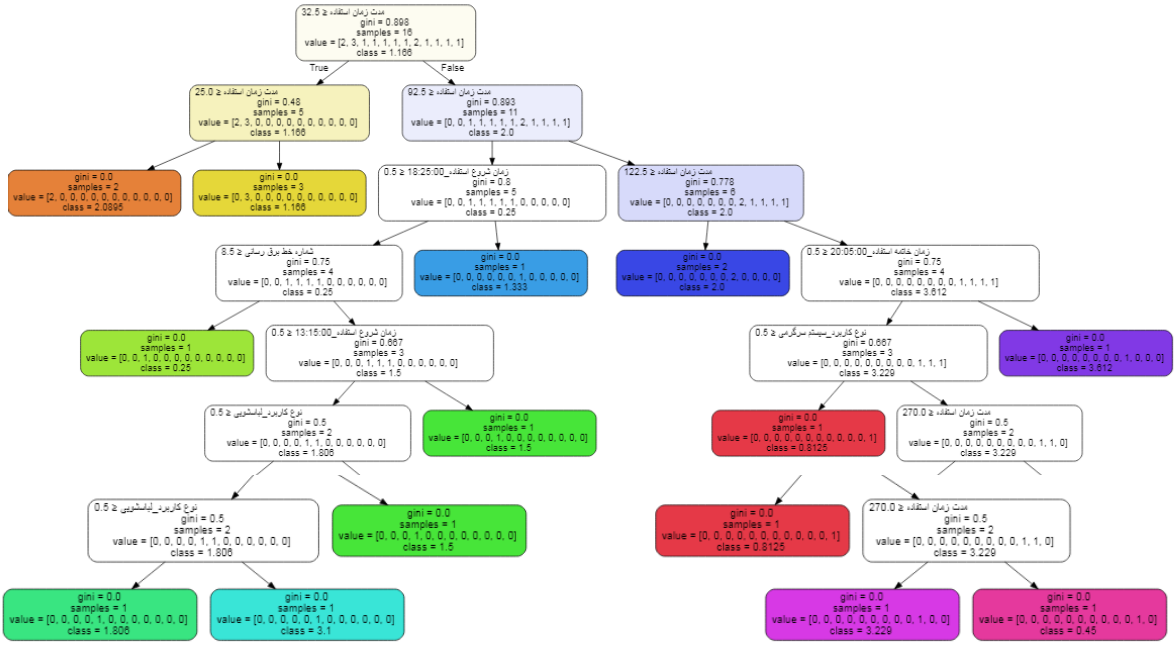
۵- الگوریتم داده‌کاوی برای یادگیری ماشین

بعد از جمع‌آوری داده‌ها و تجزیه و تحلیل آنها با استفاده از درخت تصمیم‌گیری براساس الگوریتم داده‌کاوی به فرم نهایی برای ذخیرهٔ داده در پایگاه داده‌ای و اجرای آن برای شکل‌گیری خانهٔ هوشمند اتوماتیک اقدام شد.

استفاده از درختان تصمیم‌گیری به‌عنوان روش رگرسیون، چندین مزیت دارد که یکی از آنها قوانین تقسیم یک روش گرافیکی بصری و ساده برای تجسم نتایج است و در عین حال، توانایی پردازش داده‌ها را نیز دارد. آنها همچنین نسبت به محیط‌های داخلی مقاوم‌اند و می‌توانند داده‌های از دست رفته را در فضای پارامتر ورودی به‌طور مؤثر اداره کنند. الگوریتم‌های درخت تصمیم با مقادیر زیادی از داده‌ها به راحتی اجرا و محاسبه می‌شوند. در مرحلهٔ اول، داده‌های جمع‌آوری‌شده مربوط به مدت زمان استفاده و در مرحلهٔ بعد، مقدار توان مصرفی در این مدت زمان‌ها به‌طور مشخص به‌صورت درخت تصمیم‌گیری برای شکل الگوریتم مرتب شدند.



شکل (۱): الگوریتم داده‌کاوی مدت زمان استفاده از دستگاه‌ها



شکل (۲): الگوریتم داده‌کاوی مقدار توان مصرفی استفاده از دستگاه‌ها

٦-نتایج

در این پژوهش توان‌های مصرفی ثبت‌شـده از اقـدامات ساکنان در استفاده از سیستم‌های الکتریکی مختلف ساختمان تحلیل و تفسیر می‌شود. بعد از جمـع‌آوری داده‌هـا و دسـته بندی آنها براساس زمان و مقدار توان مصرف‌شدۀ هریک از سیسـتم‌هـا در سـناریوی حضـور در خانـۀ هوشـمند بـرای اتوماتیک‌شدن ساختمان این اطلاعات وارد سیستم مـدیریت خانه شدند و در پایان با یک خانۀ عادی کاملاً مشابه با تمام جزئیات برای مشاهدۀ میزان انرژی بهینه‌سازی‌شـده مقایسـه می‌شود.

٦-١- سیستم‌های الکتریکـی بـا تـوان مصـرفی روزانۀ ثابت

این دستگاه‌ها باید در طول شبانه‌روز در حالت آمـاده‌بـه کار باشند؛ بنابراین، توان مصرفی ثابتی دارند.

جدول (٤): توان ثابت مصرف‌شده در ساختمان هوشمند اتوماتیک

نام دستگاه	شمارۀ خط برق‌رسانی	مدت زمان استفاده	توان مصرفی
سیستم اعلام و اطفاء حریق	1	24h	2/016 kwh
سیستم مخابراتی	۲	24h	2/808 kwh
یخچال و فریزر	3	24h	10/800 kwh
سیستم آبیاری	4	1h	0/000000735kwh

جدول (٤): توان ثابت مصرف‌شده در ساختمان هوشمند اتوماتیک

نام دستگاه	شمارۀ خط برق‌رسانی	مدت زمان استفاده	توان مصرفی
سیستم اعلام و اطفاء حریق	1	24h	2/016 kwh
سیستم مخابراتی	۲	24h	2/808 kwh
یخچال و فریزر	3	24h	10/800 kwh
سیستم آبیاری	4	1h	0/000000735kwh

٦-۲- سیستم‌های الکتریکی با توان‌های مصرفی متغییر در خانهٔ هوشمند

الف) فعالیت‌های ساکنان در استفاده از سیستم پریز در سناریوی حضور در خانهٔ هوشمند و عادی در یک شبانه‌روز

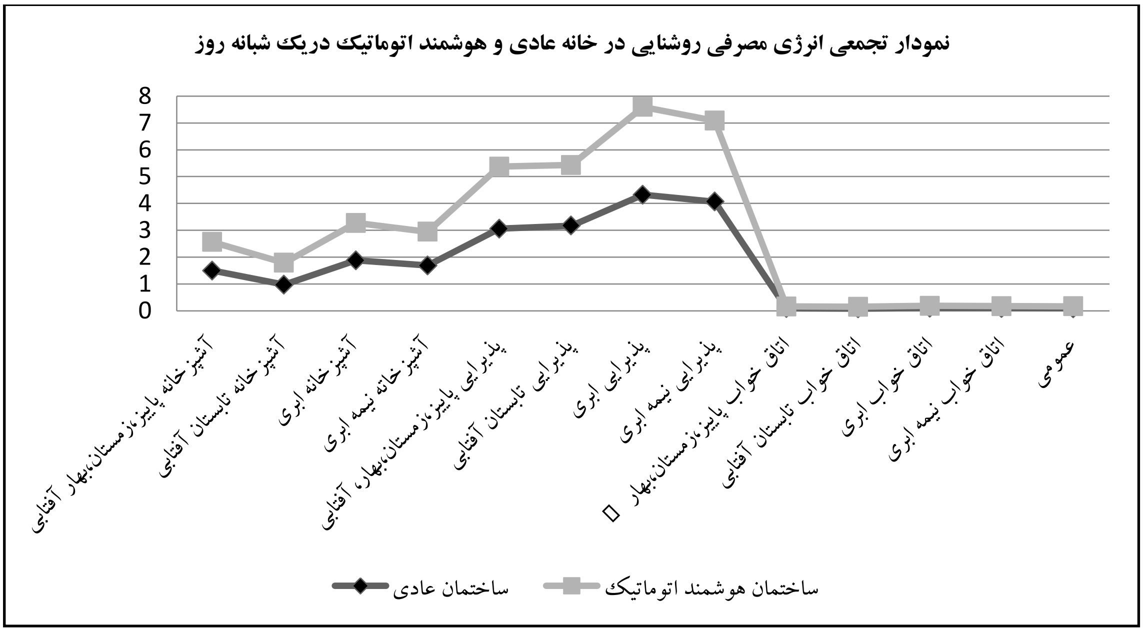
مقدار توان الکتریکی مصرف‌شده همراه با زمان و مدت زمان استفاده در سناریوی حضور براساس داده‌های جمع‌آوری‌شده از فعالیت‌های ساکنان در استفاده از سیستم‌های پریز دسته‌بندی به‌صورت فرم نهایی مطابق با جدول شمارهٔ ۵ شکل گرفت. این اطلاعات نشان می‌دهند ساکنان بعد از یک دورهٔ آزمایش در استفاده از سیستم پریز بعد از تکرارها و منسجم‌کردن داده‌ها در زمان‌های ثبت‌شده از انرژی الکتریکی استفاده می‌کنند.

ب) مقایسهٔ داده های توان مصرفی سیستم روشنایی در ساختمان عادی و هوشمند اتوماتیک

سیستم روشنایی ساختمان، مطابق با جداول شمارهٔ ۲ و ۳، برای بخش‌های مختلف ساختمان، استانداردهای تعریف شده دارند؛ بنابراین، در این پژوهش مطابق با این استانداردها و استانداردهای انتخاب تجهیزات روشنایی و دستورالعمل هایی برای ورود نور طبیعی به‌جای سیستم روشنایی شکل نهایی اطلاعات ساختمان به‌صورت جدول شمارهٔ ٦ جمع‌آوری شدند.

جدول (۵): سیستم پریز یک شبانه‌روز در خانهٔ عادی و هوشمند اتوماتیک

برنامهٔ استفاده از سیستم پریزها					
زمان خاتمهٔ استفاده	زمان شروع استفاده	توان مصرفی	مدت زمان استفاده	نوع کاربرد	شمارهٔ خط برق‌رسانی
۷:۳۰	۷:۰۰	2/0895 kwh	۳۰ دقیقه	قهوه‌ساز، صبحانه‌ساز	5
۹:۰۵	۸:۰۰	1/166 kwh	۳۵ دقیقه	ماشین ظرفشویی	6
7:20	7:00	0/25 kwh	۲۰ دقیقه	پریز آشپزخانه	7
۷:۳۰	۷:۰۰	1/5 kwh	۳۰ دقیقه	پریز اتاق	8
۱٤:۰۰	۱۱:۰۰	1/806 kwh	۱۸۰ دقیقه	سیستم سرگرمی	9
۱۳:۰۰	۱۱:۰۰	3/1 kwh	۱۲۰ دقیقه	اجاق گاز و هود	10
۱٤:۰۰	۱۳:۱۵	1/333 kwh	٤۰ دقیقه	ماشین ظرفشویی	11
۱۷:۳۰	۱٦:۳۰	2/0 kwh	٦۰دقیقه	لباسشویی	13
23:00	17:00	3/612 kwh	۳٦۰ دقیقه	سیستم سرگرمی	۱۲
۲۰:۰۵	۱۸:۰۰	3/229 kwh	۱۲۵دقیقه	اجاق گاز و هود	14
۱۹:۰۰	۱۸:۱۵	0/45 kwh	٤۵ دقیقه	پریز آشپزخانه	15
۱۹:۳۰	۱۸:۲۵	0/8125 kwh	٦۵دقیقه	پریز آشپزخانه	16
۲۱:۰۰	۲۰:۳۰	1 kwh	۳۰ دقیقه	ماشین ظرفشویی	17
۲۲:۲۰	۲۲:۰۰	0/6 kwh	۲۰دقیقه	پریز اتاق خواب	18
۲۳:۰۰	۲۱:۰۰	0/01 kwh	۱۲۰ دقیقه	پریز پذیرایی	19
۷:۰۰	۲۳:۰۰	0/048 kwh	٤۸۰ دقیقه	پریز اتاق خواب	20
		23/006 kwh	توان مصرفی روزانه کل در حالت اتوماتیک		
		27/718 kwh	توان مصرفی روزانهٔ کل در حالت عادی		



شکل (۳): نمودار تجمعی انرژی مصرفی روشنایی در خانهٔ عادی و هوشمند اتوماتیک در یک شبانه‌روز

جدول (٦): سیستم روشنایی یک شبانه‌روز در خانهٔ عادی و هوشمند اتوماتیک

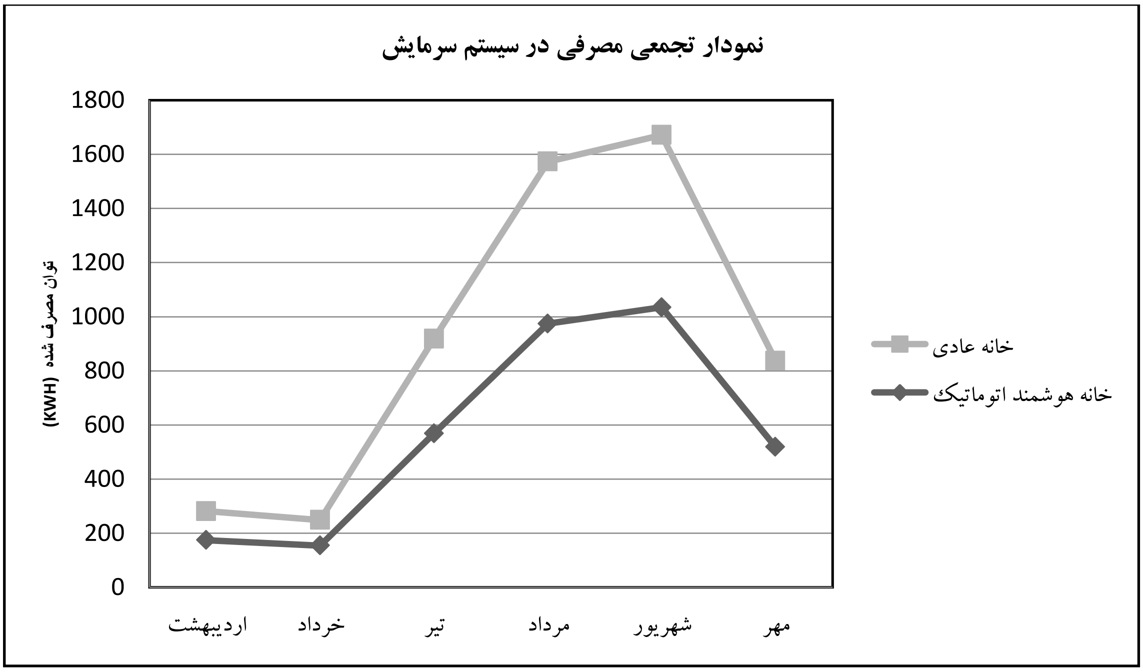
محل سیستم روشنایی	توان مصرفی ساختمان عادی	توان مصرفی ساختمان اتوماتیک هوشمند
روشنایی آشپزخانه در فصل (پاییز، زمستان و بهار)	1/498 kwh	1/068 kwh
روشنایی آشپزخانه در فصل تابستان	0/972 kwh	0/816 kwh
روشنایی آشپزخانه در وضعیت جوی ابری	1/876 kwh	1/398 kwh
روشنایی آشپزخانه در وضعیت جوی نیمه‌ابری	1/687 kwh	1/257 kwh
روشنایی پذیرایی در فصل (پاییز، زمستان و بهار)	3/058 kwh	2/317 kwh
روشنایی پذیرایی در فصل تابستان	3/170 kwh	2/259 kwh
روشنایی پذیرایی در وضعیت جوی ابری	4/322 kwh	3/274 kwh
روشنایی پذیرایی در وضعیت نیمه‌ابری	4/064 kwh	3/018 kwh
روشنایی اتاق خواب در فصل (پاییز، زمستان و بهار)	0/093 kwh	0/070 kwh
روشنایی اتاق خواب در فصل تابستان	0/083 kwh	0/066 kwh
روشنایی اتاق خواب در وضعیت جوی ابری	0/107 kwh	0/080 kwh
روشنایی اتاق خواب در وضعیت جوی نیمه‌ابری	0/099 kwh	0/075 kwh
روشنایی عمومی ساختمان	0/087 kwh	0/079 kwh

ج) داده‌های سیستم سرمایش و گرمایش در حالت اول سناریوی حضور

دمای مطلوب محیط خانگی مطابق با مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات ارائه شده که در جدول (۳-۲) نشان داده شده است. اندازه‌گیری مقدار مصرف انرژی الکتریکی در این بخش بر مبنای تعداد ساعات روشن‌بودن دستگاه است. این سیستم فقط به حضور داشتن یا نداشتن افراد در خانه وابسته است. در سناریوی حضور، ساکنان در خانه‌اند؛ اما ممکن است همه افراد خانواده در یک قسمت ساختمان نباشند، در دیگر بخش‌های ساختمان حضور داشته باشند یا در ساعات دیگر به آن قسمت خانه رفت‌وآمد کنند؛ بنابراین، ساعات شبانه‌روز به دوره‌های مختلف تقسیم می‌شود. از این رو مطابق با رفتار ساکنان در دوره‌های زمانی مختلف، افراد خانواده در هر قسمت ساختمان حضور داشته باشند سیستم

اقدام به فراهم‌کردن دمای مطلوب محیطی برای افراد ساکن در آن مکان می‌کند که این روش دو مزیت عمده دارد:

- ✓ سیستم دیگر لازم نیست برای فراهم‌کردن دمای ایدئال محیط با قدرت بالا شروع به کار کند.
- ✓ سطح آسایش و رضایت ساکنان بیشتر می‌شود.



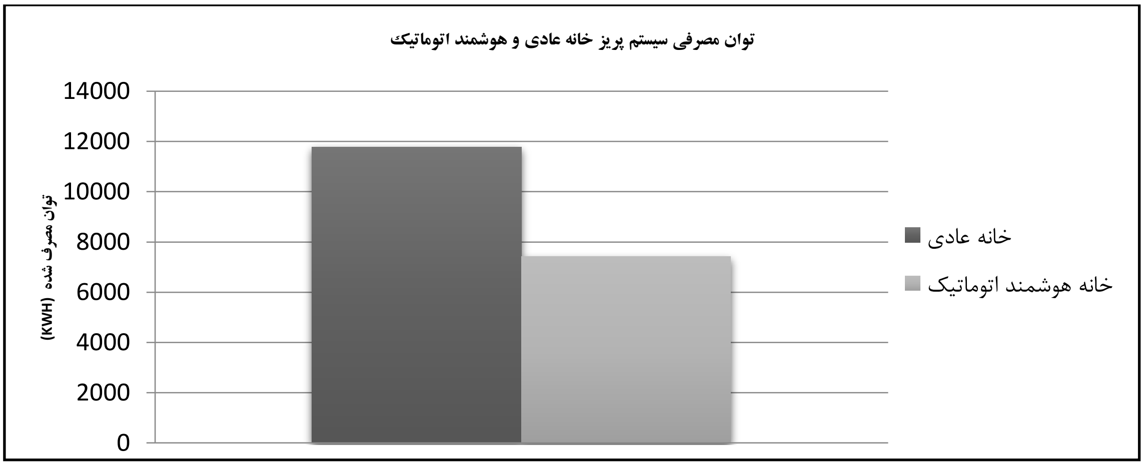
شکل (٤): نمودار تجمعی سیستم سرمایش در یک شبانه‌روز در ماه‌های سال

شکل (٥): نمودار تجمعی سیستم گرمایش در یک شبانه‌روز در ماه‌های سال

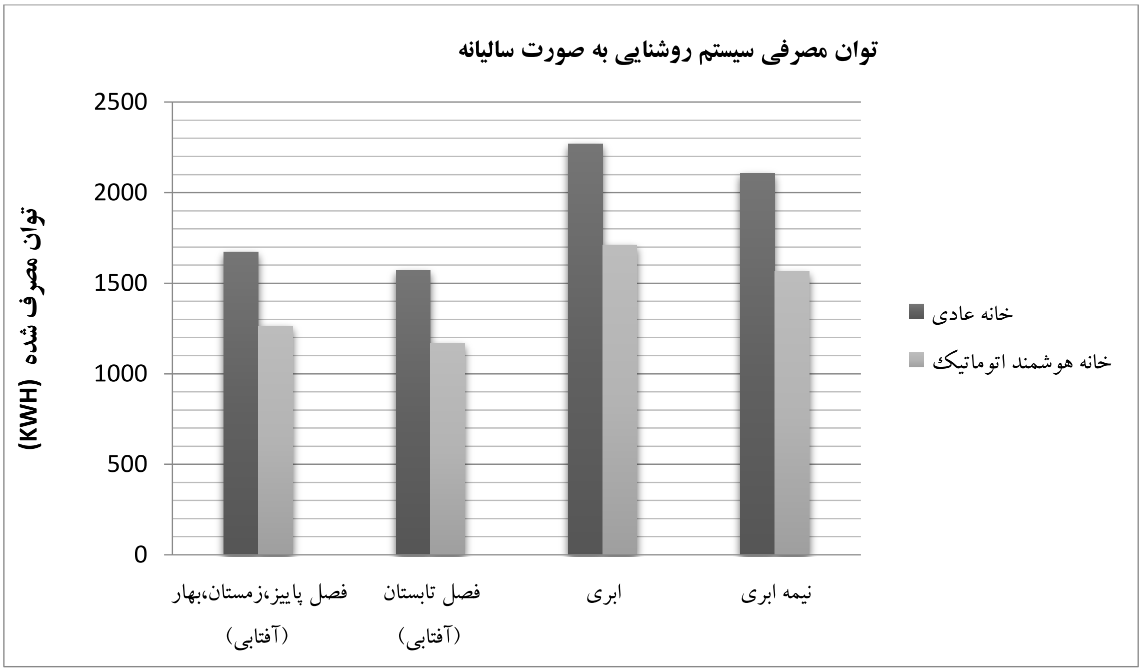
۷- بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش اقدامات مربوط به مصرف واقعی انرژی در خانه‌های هوشمند را براساس اطلاعات رفتاری ساکنان در مواجه با مصرف انرژی انجام داد. با ثبت این اطلاعات و اجرای الگوریتم نهایی آن در سیستم مدیریت هوشمند ساختمان موجب شکل‌گیری خانه‌ای اتوماتیک شده است که به‌طور خودکار انرژی الکتریکی را در اختیار ساکنان قرار می‌دهد. برخلاف پژوهش‌های انجام‌شده، در این پروژه در طول آزمایش تمام خطوط برق‌رسانی الکتریکی در ساختمان کنترل و مانیتور شدند تا مقدار توان الکتریکی مصرفی، زمان به‌کارگیری، طول مدت استفاده از تجهیزات با توجه به استانداردهای تعریف‌شده جمع‌آوری و ثبت شود و پس از تجزیه و تحلیل و بررسی به‌صورت فرم کلی برای اجرا وارد سیستم مدیریت خانه هوشمند شد. به همین دلیل تمام جوانب در نظر گرفته شد تا در کنار بهینه‌سازی مصرف انرژی، سطح آسایش ساکنان کاهش نیابد و همچنین سیستم نهایی با قابلیت اطمینان بالایی رفتار ساکنان در زمان‌های مختلف را پیش‌بینی و سیستم الکتریکی لازم را مطابق با عادات و سلایق ساکنان فعال کند. سپس با مقایسهٔ ساختمان هوشمند اتوماتیک و ساختمان عادی که مشخصات مشابه دارند، مقدار انرژی الکتریکی بهینه‌سازی‌شده در همه بخش‌های الکتریکی ساختمان (پریزها، روشنایی، سرمایش و گرمایش و ...) مشاهده شد. در طول شکل‌گیری پروژهٔ خانهٔ هوشمند اتوماتیک، تمامی مراحل جمع‌آوری داده‌ها به ساکنان در هنگام مصرف انرژی و استفاده از تجهیزات هیچ دستورالعملی الزام نشد و ساکنان به‌طور طبیعی در خانه مشغول به انجام کارهای روزمره خود شدند.

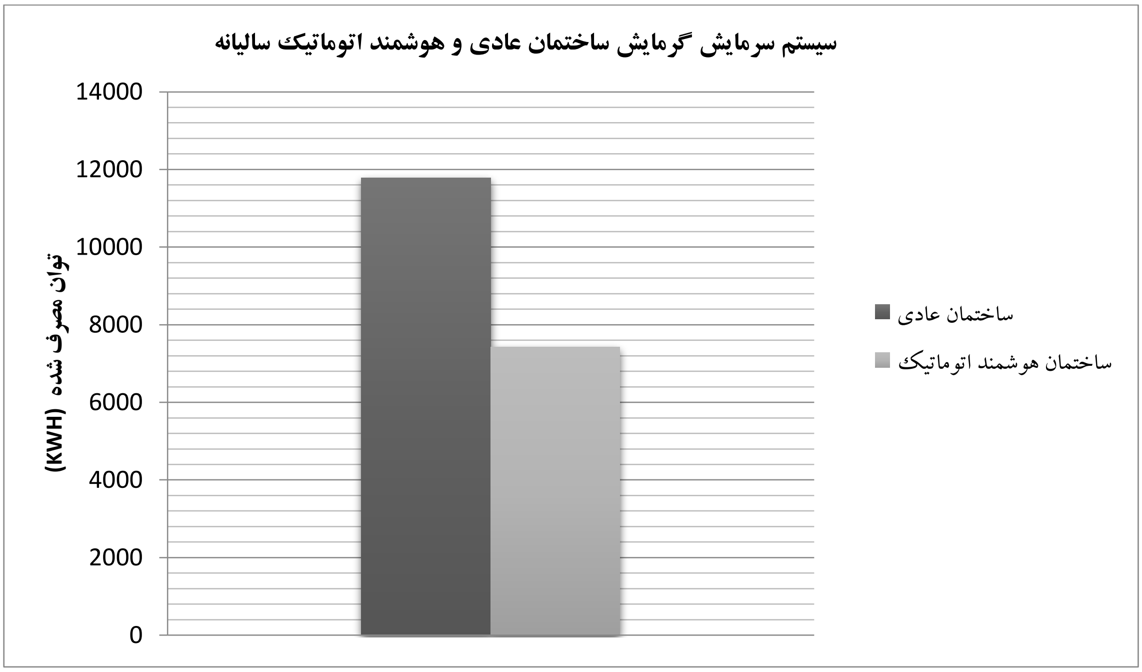
در این پروژه یک شبکهٔ هوشمند متصل به سیستم مدیریت خانه طراحی شد تا با نظارت و کنترل بر عرضه و تقاضای انرژی، تا حد امکان از تولیدات منابع تجدیدپذیری که در ساختمان طراحی و اجرا شده‌اند برای تأمین تقاضا استفاده شود و انرژی اضافی حاصل از تولیدات منابع تجدیدپذیر یا کمبودها را با شبکهٔ سراسری دادوستد کند.



شکل (٦): مقایسهٔ توان مصرفی سیستم پریز خانهٔ عادی و هوشمند اتوماتیک در طول یک سال



شکل (۷): مقایسهٔ توان مصرفی سیستم روشنایی خانهٔ عادی و هوشمند اتوماتیک در طول یک سال



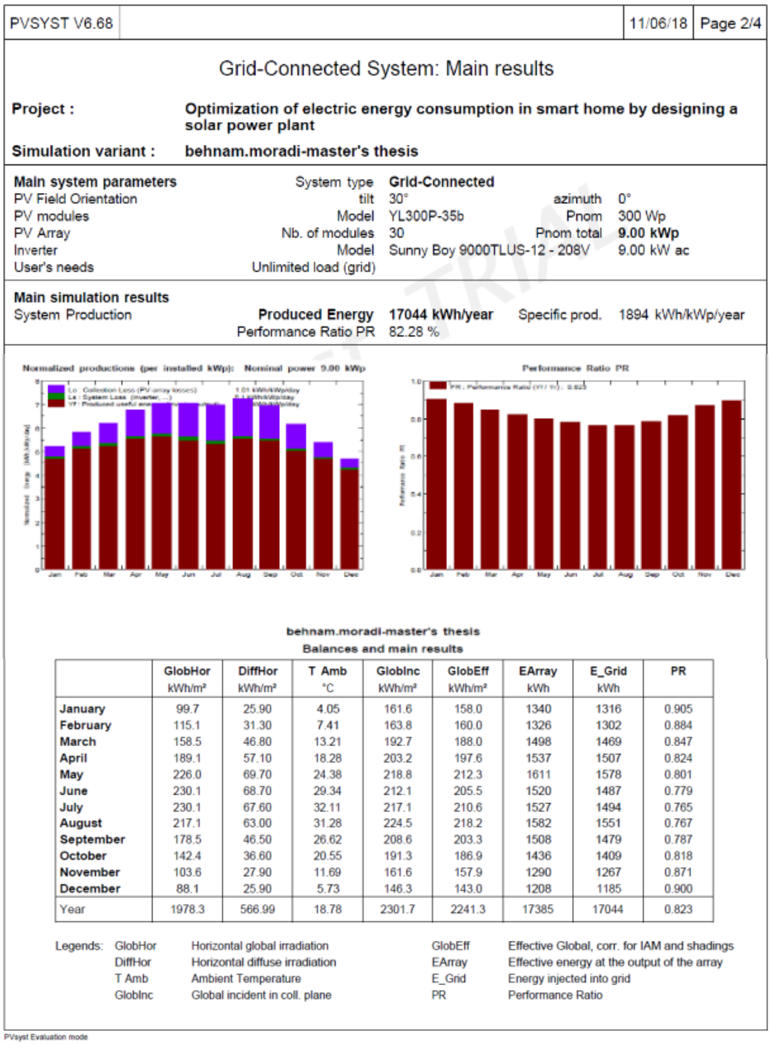
شکل (۸): مقایسهٔ توان مصرفی سیستم سرمایش و گرمایش خانهٔ عادی و هوشمند اتوماتیک در طول یک سال

در این پژوهش در خانهٔ هوشمند یک منبع تولید انرژی تجدیدپذیری طراحی شد. با توجه به موقعیت جغرافیایی خانهٔ هوشمند و براساس داده‌های جوی از آن منطقه، میزان تابش نور خورشید از وزش باد در شبانه‌روز بیشتربود؛ بنابراین، توانایی منابع تولید انرژی الکتریکی خورشیدی به نسبت بالاتر و اجرای آن منطقی‌تر بود. به همین دلیل، یک منبع تولید انرژی الکتریکی خورشیدی برای پروژه طراحی شد. منابع تولید انرژی تجدیدپذیر برای تولید انرژی به‌طور کامل وابسته به شرایط آب‌وهوایی هستند؛ بنابراین ممکن است تمام انرژی تقاضاشده را پشتیبانی نکنند یا انرژی

تولیدشده بیشتر از نیاز مصرف باشد. از این رو در این طراحی یک سیستم تولید انرژی الکتریکی خورشیدی متصل به شبکه در نظر گرفته شد تا عرضه و تقاضای انرژی الکتریکی متعادل باشند.

موقعیت پروژهٔ ایران – گرمسار در نظر گرفته شد.

به‌طور کلی با توجه به نتایج شبیه‌سازی پنل‌های خورشیدی خانگی مقدار ۱۷۰٤٤ کیلووات ساعت سالیانه تولید انرژی داریم.


PVSYST V6.68 | 11/06/18 | Page 2/4

Grid-Connected System: Main results

Project : Optimization of electric energy consumption in smart home by designing a solar power plant

Simulation variant : behnam.moradi-master's thesis

Main system parameters — System type: **Grid-Connected**
PV Field Orientation — tilt 30° — azimuth 0°
PV modules — Model YL300P-35b — Pnom 300 Wp
PV Array — Nb. of modules 30 — Pnom total **9.00 kWp**
Inverter — Model Sunny Boy 9000TLUS-12 - 208V — 9.00 kW ac
User's needs — Unlimited load (grid)

Main simulation results
System Production — **Produced Energy** **17044 kWh/year** — Specific prod. 1894 kWh/kWp/year
Performance Ratio PR 82.28 %

behnam.moradi-master's thesis
Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR
January	99.7	25.90	4.05	161.6	158.0	1340	1316	0.905
February	115.1	31.30	7.41	163.8	160.0	1326	1302	0.884
March	158.5	46.80	13.21	192.7	188.0	1498	1469	0.847
April	189.1	57.10	18.28	203.2	197.6	1537	1507	0.824
May	226.0	69.70	24.38	218.8	212.3	1611	1578	0.801
June	230.1	68.70	29.34	212.1	205.5	1520	1487	0.779
July	230.1	67.60	32.11	217.1	210.6	1527	1494	0.765
August	217.1	63.00	31.28	224.5	218.2	1582	1551	0.767
September	178.5	46.50	26.62	208.6	203.3	1508	1479	0.787
October	142.4	36.60	20.55	191.3	186.9	1436	1409	0.818
November	103.6	27.90	11.69	161.6	157.9	1290	1267	0.871
December	88.1	25.90	5.73	146.3	143.0	1208	1185	0.900
Year	1978.3	566.99	18.78	2301.7	2241.3	17385	17044	0.823

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation; DiffHor Horizontal diffuse irradiation; T Amb Ambient Temperature; GlobInc Global incident in coll. plane; GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings; EArray Effective energy at the output of the array; E_Grid Energy injected into grid; PR Performance Ratio

PVsyst Evaluation mode

شکل (۷): نتیجهٔ نهایی از شبیه‌سازی پنل‌های خورشیدی خانگی

۸–پیشنهادها

در پژوهش‌های آتی، واقعی‌سازی توان الکتریکی مصرفی را در مقیاس بالاتر (منطقه، شهر، استان و کشور) و همچنین هوشمندسازی شبکهٔ توزیع منطقه‌ای و سراسری برق و شناسایی موقعیت های مختلف جغرافیایی برای احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر را به‌صورت تکی یا ترکیبی می‌توان بررسی کرد. شبکه‌های هوشمند آینده باید از نفوذ بزرگ‌تری از انرژی‌های باد و خورشیدی متمرکز و توزیع‌شده استفاده کنند. همچنین باید رشد سریع تقاضا را با توجه به پلاگین وسایل نقلیهٔ الکتریکی جایگزین کند و یاد بگیرد چگونه با استفاده از ظرفیت ذخیره‌سازی ذاتی آنها بهینه شود.

مراجع

[1] V.Ricquebourg, d.Menga, D.Durand, b.Marhic, L. delahhe, C.loge, "The Smart home concept: our immediate future",1th IEEE International conference on ELearning in Industrial Electronics,pp. 23-28, Dec.2006.

[2] Y.Duan, j.Edwards, T.Dwivedi, "Artificial intelligence for decision making in the era of Big Data –evolution challenges band research agenda". International journal of Information Management, Vol.9, No.1,pp. 63-71, 2019.

[3] R.Nunes, J.Delgado, "An architecture for a home automation system", IEEE International conference on Electronics, circuits and Systems, Vol.1 , No.3, pp. 259 – 262,Sept. 1998,

[4] A.Rezaee, "Intelligent Control of Cooling Heating Systems by Using Emotional Learning", Electronics and electrical engineering, Vol. 18, No.2, pp. 26-30, 2012.

[5] M.ZekićSušac, R. Scitovski, A. Has, "Cluster analysis and artificial neural networks in predicting energy efficiency of public buildings as a costsaving approach". Croatian Review of Economic, Business and Social Statics, Vol.4, No.2,pp. 57-66, 2018.

[6] H.Krstić, M. Teni, "Algorithm for constructional characteristics data cleansing of large scale public buildings database, High performance and Optimum Design of Structures and Materials", WIT Transactions on the Built Environment, Vol.175, pp.213-224, 2018.

[7] M. Zekić-Sušac, M. Knežević, R. Scitovski, "Deep learning in modeling energy cost of buildings in the public sector In F. Martinez Alvarez",Advances in intelligent systems and computing, Vol.950, pp. 101-110, 2019.

[8] V.Marinakis, H.Doukas,. "An advanced IoT-based system for intelligent energy management in buildings", Sensors, Vol.18, No.2 ,pp. 1-16, 2018.

[9] D.GonzaloHuitrón, "Reducing home power Consumption with Wireless Controllers",Low power,Vol.2 , No. 1, pp. 20-26, 2015.

[10] M. Mavhome, "Smart Environments: Technologies, Protocols and Applications", IEEE Pervasiv Computing, Vol. 2, No. 3, 2003.

[11] M.Muratori, C.Matthew, R. Roberts, M.Sioshansi, "A highly resolved modeling technique to simulate residential power demand ", Applied Energy, Vol. 107, No. 1, pp. 465-473, July 2013.

[12] S. Ontario, "Smart Grid Forum, Enabling Tomorrow Electricity System",Report of the Ontario Smart Grid forum, February 2009.

[13] G.trabac, "Demand Side Management: Benefits and Challenges", Energy Policy, Vol. 36, No.12, 2008.

[14] S.Firth, K. Lomas, R. Measurements." Smart Building", Energy and buildings", Vol. 40, No. 5, pp.926_36, 2006.

[15] Hawarah, S. Ploix, and M. Jacomino, "User behavior prediction in energy consumption in housing using Bayesian networks," In Artificial Intelligence and Soft Computing, Vol.5, No.6, pp. 372-379, 2010,.

[16] G. Gao and K. Whitehouse, "The self-programmi thermostat: optimizing setback schedules based on home occupancy patterns," in Proceedings of the First ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings, pp. 1-9, 2009,

[1] Building Energy Management System (BEMS)
[2] Smart grid
[3] Advanced Metering Infrastructure
[4] Home Energy Management System
[5] GEO