APJ 5(4):55-67, Winter 2025

Arman Process Journal (APJ)

Homepage: https://www.armanprocessjournal.ir

Effective Energy Management in Smart Homes Using Internet of Things

Alireza Sohrabi Farid[1], Mahdi Bazargani[2*], Farhad GharehBaghi[3], Parisa Rahmani[4], Nafiseh Fareghzadeh[5]

[1] Department of Computer Science, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran
[2] Department of Computer Science, Islamic Azad University, Zanjan Branch, Zanjan, Iran
[3] Department of Computer Science, Islamic Azad University, Zanjan Branch, Zanjan, Iran
[4] Department of Computer Science, Islamic Azad University, Pardis Branch, Tehran, Iran
[5] Department of Computer Science, Islamic Azad University, Khodabandeh Branch, Zanjan, Iran

ABSTRACT

RESEARCH PAPER

Received: 27 June 2024
Accepted: 4 December 2024

KEYWORDS:
Energy Management,
Smart Home,
Internet of Things,
Productivity,
Evaluation Criteria,

[1] **Corresponding author:**
mbzir @iauz.ac.ir

Recently, with the increasing need for optimal energy consumption in resources, effective energy management in smart homes, based on the Internet of Things (IoT) has become an importance research area. In this regard, identifying major performance metrics and parameters is essential in designing, implementing, and evaluating successful systems. In this research, we will investigate the problem and major dimensions, in detail and analyze executional effects from technical, security, and performance perspectives. The results of the research presents that energy management in smart homes based on the IoT requires integration of technical, supervisory, evaluation, and environmental criterias. The use of accurate sensors, appropriate selection of communication protocols, application of cloud and edge processing, applying prediction and optimization algorithms are the most important parameters in improving the efficiency of systems. Moreover, attention to security, privacy, flexibility, and coordination with consumer equipments can play a significant role in creating a smart and optimal system. On the other side, continuous performance evaluation and the use of key quality indicators allow managers to continuously improve the system performance, by receiving appropriate feedback and using self-organizing algorithms. Such a comprehensive approach will not only ensure the optimization of energy consumption, but also pave the way for sustainable development, improved security, increased quality of service, and effective energy management in smart homes.

نشریه تخصصی آرمان پردازش، دوره ۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳

فصلنامه تخصصی آرمان پردازش
(APJ)
Homepage: www.armanprocessjournal.ir

فصلنامه تخصصی فناوری اطلاعات و ارتباطات
شماره مجوز: ۸۷۰۹۰

مدیریت موثر انرژی در خانه‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء

علیرضا سهرابی فرید[۱]، مهدی بازرگانی[۲*]، فرهاد قره‌باغی[۳]، پریسا رحمانی[۴]، نفیسه فارغ زاده[۵]

گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زنجان، زنجان، ایران
گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زنجان، زنجان، ایران
گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پردیس، تهران، ایران
گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خدابنده، زنجان، ایران

چکیده

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۴/۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳ /۹/۱۴

واژگان کلیدی:
مدیریت انرژی،
خانه هوشمند،
اینترنت اشیاء،
بهره وری،
معیار ارزیابی،

اخیرا با افزایش روزافزون نیاز به مصرف بهینه منابع انرژی، مدیریت هوشمند انرژی در خانه‌های هوشمند بر بستر اینترنت اشیاء، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است. در این راستا، شناسایی معیارها و پارامترهای مؤثر به‌عنوان گام نخست جهت طراحی، پیاده‌سازی و ارزیابی سامانه‌های موفق، ضروری است. در این مقاله، به بررسی دقیق این معیارها پرداخته و تأثیرات آن‌ها را از منظر عملکرد فنی، امنیتی و مدیریتی بررسی و تحلیل می‌نماییم. نتایج پژوهش نشان می دهد، مدیریت انرژی در خانه‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء مستلزم تلفیق دقیق معیارهای فنی، مدیریتی، ارزیابی و محیطی است. استفاده از سنسورهای دقیق، انتخاب مناسب پروتکل‌های ارتباطی، بکارگیری پردازش‌های ابری و لبه، و همچنین به‌کارگیری الگوریتم‌های پیش‌بینی و بهینه‌سازی از مهم‌ترین پارامترها در بهبود کارایی سیستم‌ها است. همچنین، توجه به امنیت، حریم خصوصی، انعطاف‌پذیری و هماهنگی با تجهیزات مصرف‌کننده می‌تواند نقش بسزایی در ایجاد یک سامانه هوشمند و بهینه داشته باشد. از سوی دیگر، ارزیابی مداوم عملکرد و استفاده از شاخص‌های کیفی کلیدی به مدیران امکان می‌دهد که با دریافت بازخورد مناسب و بکارگیری الگوریتم‌های خودسازمان‌ده، سامانه را به‌طور مستمر بهبود بخشند. چنین رویکرد جامعی نه تنها بهینه‌سازی مصرف انرژی را تضمین می‌کند بلکه زمینه‌ساز توسعه پایدار، ارتقای امنیت و افزایش کیفیت زندگی در محیط‌های خانه‌های هوشمند خواهد بود.

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر، فناوری‌های نوین به‌ویژه اینترنت اشیاء[1] نقش بنیادینی در تحول محیط‌های زندگی و مدیریت منابع ایفا کرده‌اند. اینترنت اشیاء مجموعه‌ای از ارتباطات و تعاملات رایانه‌ای و فناور محور مانند حسگر، واحدهای پردازش، نرم‌افزار و سخت‌افزار با دیگر دستگاه‌ها و سامانه‌ها را دربرمی گیرد که از طریق اینترنت یا دیگر شبکه‌های ارتباطی توزیعی با یکدیگر مرتبط بوده و قابل مدیریت می باشند. این دستگاهها در سرایر جهان به اینترنت متصل بوده و اطلاعات موردنظر را جمع‌آوری نموده و با کاربر و سایر دستگاه‌های متصل به اشتراک می‌گذارند تا تمهیدات نظارتی و مدیریت موردنظر روی آن دستگاهها لحاظ گردد [۱].

تقریبا هر چیزی که بتواند به شبکه اینترنت متصل شود، بخشی از اینترنت اشیاء است. در خانه هوشمند، وسایل یا به اصطلاح گجت‌های مجهز به شبکه اینترنت، کاربران را از انجام کارهای تکراری و روتین بی نیاز می‌کنند. همچنین اینترنت اشیاء به شرکت‌ها اجازه می‌دهد تا فرآیندها را به صورت خودکار ساماندهی و اجرا نمایند [۲]. به این ترتیب، از هزینه‌ها کاسته می‌شوند و روند خدمت‌رسانی بهینه سازی می‌شود. اخیرا اینترنت اشیاء در اغلب حوزه های کاربردی و عملیاتی مانند صنعت، بهداشت، بازرگانی، کشاورزی و کارخانه‌هایی تولیدی به طور قابل توجهی کاربرد داشته است و دستاوردهای ارزنده‌ای ایجاد نموده است [۳]. اینترنت اشیاء، فناوری نوین و هوشمندی است که از طریق اینترنت با دستگاه‌ها ارتباط برقرار می‌کند، زندگی، شغل و فرهنگ مردم را بهبود می‌بخشد و از آنها پشتیبانی می‌کند. اینترنت اشیاء، اینترنت و دنیای واقعی را برای ایجاد هم افزایی اقتصادی بین انسان و محیط پیرامون زندگی، هماهنگ می‌کند. اساسا چارچوب‌های فناوری اینترنت اشیاء در سراسر جهان همواره به صورت بستر باز، فعالیت می‌کنند [۴]. اگرچه اینترنت اشیاء در همه حوزه‌ها کاربردی است، اما می‌توان گفت یکی از حوزه‌های مهم و جذابی که می‌تواند سریعتر از سایر حوزه‌ها خود را با آن وفق دهد، حوزه مدیریت موثر انرژی در خانه‌های هوشمند[2] است. خانه‌های هوشمند به عنوان یکی از کاربردهای پیشرفته این فناوری‌ها، توانسته‌اند با کنترل هوشمند تجهیزات و مصرف‌کننده‌های انرژی، علاوه بر راحتی، منجر به صرفه‌جویی اقتصادی و کاهش اثرات زیست‌محیطی شوند و زیرساخت شهرهای هوشمند را ایجاد نمایند. شهر هوشمند روشی نوآورانه برای حل مشکلات شهری و همچنین سایر مسائل اقلیمی قریب الوقوع با فناوری‌های نوآورانه است [۵].

علی‌رغم همه مزایای مطرح شده از اینترنت اشیاء و کاربردهای آن، درحال حاضر در این حوزه معضلاتی وجود دارد و برخی از چالش‌ها رو به رشد است و هنوز راه حل‌های کاملاً مطمئنی برای رفع آنها ارائه نشده است که یکی از آنها مصرف انرژی[3] در دستگاه‌های مانیتورینگ[4] مدیریت موثر انرژی در خانه‌های هوشمند در شبکه اینترنت اشیاء است که به دلایلی از قبیل منابع انرژی کم و نیاز به طول عمر[5] زیاد اهمیت دارند. از آنجایی که شهرها با مسائل پیچیده شهری سروکار دارند، درسال های اخیر نیاز به افزایش کارایی در بهره برداری و مدیریت شهری مورد توجه محققان قرار گرفته است. سیستم‌های مدیریت انرژی خانه‌های هوشمند به عنوان یک راه حل موثر برای کاهش مصرف انرژی و هزینه در مناطق مسکونی شناسایی شده اند. ادغام اینترنت اشیاء و تکنیک‌های یادگیری ماشین در سیستم‌های مدیریت انرژی خانه هوشمند می‌تواند عملکرد و کارایی سیستم را افزایش دهد. ادغام اینترنت اشیاء و تکنیک‌هایی نظیر شبکه‌های عصبی عمیق در این سیستم‌ها، امکانات جدیدی را برای مدیریت مصرف انرژی و کاهش هزینه‌ها باز کرده است. یک سیستم مدیریت انرژی خانه هوشمند می‌تواند از الگوهای مصرف انرژی ساکنان بیاموزد و مصرف انرژی را برای کاهش ضایعات و هزینه‌های غیرضروری تنظیم نماید [۶].

با افزایش جمعیت و رو به رشد شدن نیاز به مصرف بهینه منابع انرژی، مدیریت هوشمند انرژی بر بستر IoT از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است. در این راستا، شناسایی معیارها و پارامترهای مؤثر به‌عنوان گام نخست جهت طراحی، پیاده‌سازی و ارزیابی سامانه‌های موفق، ضروری است [۷]. در این پژوهش، مساله و چالش اصلی مدیریت موثر انرژی در خانه‌های هوشمند مبتنی بر تکنولوژی اینترنت اشیاء می‌باشد. در راستای حل مساله و دستیابی به اهداف پژوهش، ایده اصلی ما بررسی معیارها و پارامترهای تاثیرگزار بر کاهش مصرف انرژی جهت نظارت بر مصرف انرژی خانه‌های هوشمند است. توسعه دیدگاه پیشنهادی دستاوردهائی مانند مقیاس پذیری، انعطاف پذیری، سازگاری با محیط، قابلیت همکاری و اتصال موثر بین لوازم خانگی در جهت مدیریت انرژی

[1] Internet of Things (IoT)
[2] Smart Homes
[3] Energy
[4] Monitoring
[5] Life Time

هوشمند را محقق خواهد نمود. در این مقاله، به بررسی دقیق این معیارها پرداخته و تأثیرات آن‌ها را از منظر عملکرد فنی، امنیتی و مدیریتی بررسی و تحلیل می‌نماییم. لذا در ادامه مقاله ابتدا ادبیات موضوعی، تاریخچه تحقیق و تحقیقات مرتبط را بررسی نموده و سپس به بررسی و تحلیل معیارها و پارامترهای تاثیرگزار بر مدیریت هوشمند انرژی در خانه های هوشمند مبتنی بر تکنولوژی اینترنت اشیاء خواهیم پرداخت.

۲. دیدگاه مدیریت انرژی موثر در خانه های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء

اینترنت اشیاء یک فناوری پیشرفته و هوشمند است که به اشیاء مختلف امکان اتصال به اینترنت و تبادل داده با هم و با سیستم‌های دیگر را می‌دهد. این اشیاء می‌توانند طیف گسترده‌ای از ابزارها از لوازم خانگی گرفته تا دستگاه‌های پزشکی و وسایل حمل‌ونقل را شامل شوند. درسوی دیگر اتوماسیون خانگی یا همان هوشمندسازی خانه به معنی داشتن سیستمی است که به طور اتوماتیک کنترل وسایل را از راه دور مهیا می کند. با استفاده از سیستم هوشمند خانه می توان کنترل زمان آبیاری، سیستم امنیتی خانه، دوربین ها و یا سایر وسایل خانه مانند یخچال یا اجاق گاز ویا حتی سیستم تهویه هوا را فقط با تلفن همراه مدیریت نمود. مصالح خانه‌های هوشمند با خانه‌های معمولی تفاوتی ندارد و فقط با نصب یک‌سری از تجهیزات می‌توان خانه را هوشمند کرد.

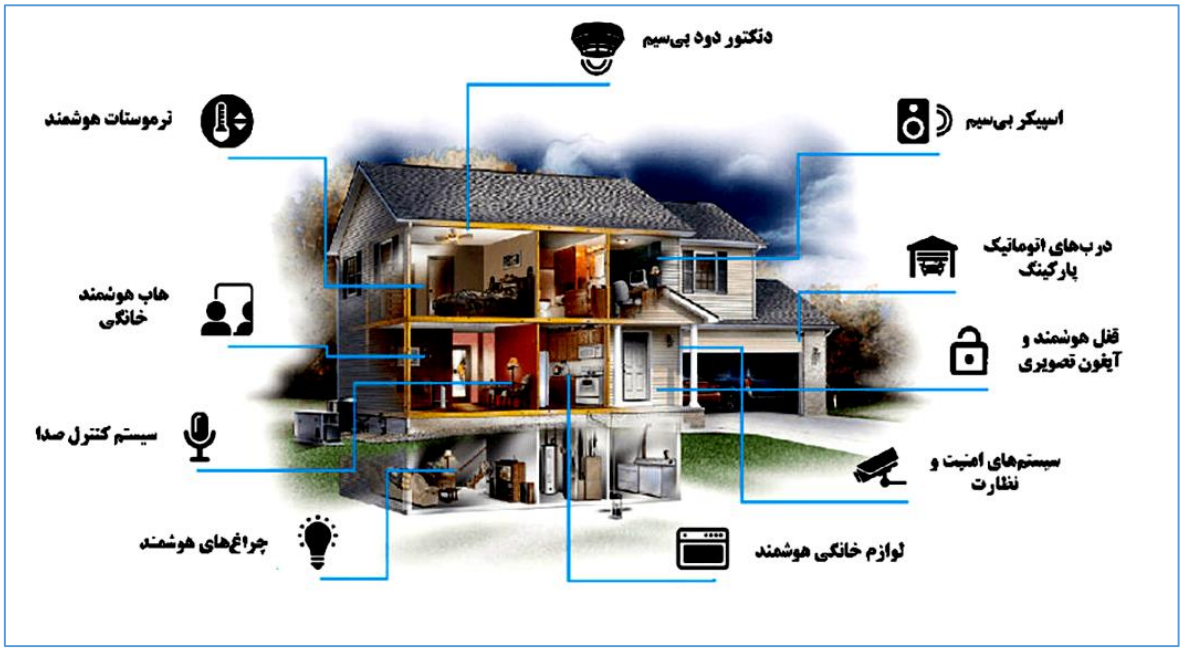
اساسا فناوری خانه هوشمند بر اساس اصل اینترنت اشیا عمل می کند و مفهوم جدید است که به دستگاه هایی اشاره دارد که به شکل شبکه به یکدیگر متصل شده و قادر به برقراری ارتباط با یکدیگر برای انجام وظایف هستند. دستگاه های مختلف می توانند به روش های مختلف با یکدیگر ارتباط برقرار نمایند. رایج ترین راه از طریق اتصالات شبکه بی سیم یا وای فای است، اما می تواند از طریق امواج رادیویی و سیم کشی نیز محقق شود. شبکه همچنین می‌تواند از ترکیبی از این موارد استفاده کند. اینترنت اشیاء در خانه هوشمند همانند ستون فقرات بدن، تمام دستگاه‌ها و حسگرها را به یکدیگر و به سیستم کنترلی مرکزی متصل می‌کند. این حسگرها اطلاعات محیطی مثل دما، رطوبت، نور، و اطلاعات دستگاه‌های خانه را جمع‌آوری کرده و سپس، به سیستم هوش مصنوعی و نرم‌افزارهای خانه هوشمند ارسال می‌کنند. در مراحل بعد، از این داده‌ها برای کنترل دستگاه‌ها، بهبود امنیت، صرفه‌جویی در انرژی و فراهم‌کردن تجربه زندگی بهتر در خانه استفاده می‌شود.

در این قسمت قصد داریم ابتدا معماری اینترنت اشیاء و سپس دیدگاه مدیریت موثر انرژی در خانه های هوشمند مبتنی بر معماری اینترنت اشیاء را توصیف نمائیم. لایه های معماری اینترنت اشیاء به شرح زیر می باشد [۵و۲]:

- لایه سخت افزار: لایه دستگاه لایه فیزیکی معماری اینترنت اشیا است که شامل حسگرها، محرک ها و سایر دستگاه هایی است که داده ها را جمع آوری و انتقال می دهند. این دستگاه ها از پروتکل های ارتباطی مختلفی مانندWi-Fi ، بلوتوث و ZigBee برای اتصال به شبکه استفاده می کنند [۲].
- لایه ارتباطات (شبکه): لایه شبکه وظیفه انتقال داده ها بین دستگاه ها و ابر را بر عهده دارد. این شامل دروازه ها و روترهایی است که از پروتکل های شبکه استاندارد مانند TCP/IPبرای اطمینان از انتقال داده های قابل اطمینان استفاده می کنند.
- لایه میان‌افزار: لایه میان‌افزار پل ارتباطی بین لایه‌های دستگاه و برنامه است. خدمات مختلفی مانند فیلتر کردن داده ها، تجمیع و عادی سازی را ارائه می دهد. همچنین شامل پروتکل‌های مختلفی مانند MQTT، CoAPو AMQP می‌شود تا ارتباط موثر بین دستگاه‌ها و ابر را امکان‌پذیر کند [۳].
- لایه برنامه و کاربرد: لایه کاربردی لایه بالایی معماری اینترنت اشیا است که در آن داده ها تجزیه و تحلیل و بر اساس آن عمل می شود. این شامل برنامه‌ها و پلتفرم‌های نرم‌افزاری مختلفی است که داده‌ها را پردازش و تجزیه و تحلیل می‌کنند تا بینش‌هایی به دست آورند و اتوماسیون را فعال کنند.

براساس دیدگاه مدیریت موثر انرژی در خانه های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء، مدیریت انرژی از طریق ابزارهای هوشمند فعال با زیرساخت اینترنت صورت می پذیرد. بهینه سازی مصرف انرژی با استفاده از ابزارهای هوشمند مانند کلیدهای هوشمند برقی استفاده از کلیدهای هوشمند سازگار با کنترل از راه دور از یک سو کنترل را ساده کرده و محیط مطلوب را ایجاد می کند و از سوی دیگر هزینه های اضافی انرژی را کاهش می دهد. البته راهکارهای دیگری نیز در این نوع ساختمان ها وجود دارد که به عنوان مثال استفاده از سنسورهای حساس به حضور افراد یکی از آن راهکارهاست. با استفاده از یک سیستم هوشمند و عملکردهای مختلف از جمله تنظیم روشنایی، کنترل پرده ها و سایبان‌ها، برنامه ریزی روشنایی و ... ترکیب نور طبیعی خورشید و نور مصنوعی

منجر به صرفه جویی قابل توجهی در مصرف انرژی می شود، علاوه بر اینکه همیشه درسطحی مطلوب است. روشنایی مناسب امکان اتصال انواع کلید و کنترلر به سیستم هوشمند وجود دارد. کلیدهای هوشمند دارای ترموستات هستند. دمای مورد نظر به راحتی توسط کاربر تنظیم می‌شود و با استفاده از کنترل‌کننده‌های وای‌فای، دستگاه‌های گرمایشی و سرمایشی تنها در صورت نیاز فعال می‌شوند، بنابراین اطمینان حاصل می‌شود که دمای مورد نظر همیشه در دسترس است و کاهش قابل توجهی در هزینه‌های انرژی حاصل می‌شود. همچنین با استفاده از سوئیچ های هوشمند می توان سناریوهای دمایی مانند ورود، خروج، سناریوهای شبانه را تعریف کرد و امکان کنترل یکپارچه تمامی سیستم های گرمایشی و سرمایشی نیز وجود دارد. برای این منظور می توان از نمایشگر یا کنترل پنل هوشمند استفاده کرد. سوئیچ‌های هوشمند اطلاعاتی مانند دمای محیط را نمایش می دهند [۶] . شکل زیر کارکردهای مدیریت موثر انرژی در خانه هوشمند را نمایش می‌دهد:



شکل ۱. مدیریت موثر انرژی در خانه هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء

خانه هوشمند ساختمانی است که از اینترنت اشیاء، فناوری کامپیوتر، فناوری کنترل و فناوری ارتباطات برای اتصال سرویس های مختلف از طریق شبکه استفاده می کند تا تمام نیازهای اتوماسیون خانه را برآورده کند و کنترل و مدیریت راحت تر مصرف انرژی را فراهم کند. ساختمان‌های خانه‌های هوشمند با کنترل‌های پیشرفته آب و هوا و روشنایی، فضای سالم‌تر، پربارتر و راحت‌تر را برای افراد ساکن در آن‌ها فراهم می‌کنند. آنها همچنین کیفیت هوای داخلی و روشنایی را به میزان قابل توجهی بهبود می بخشند. اتوماسیون اولیه خانه هوشمند با استفاده از سنسورهای مختلف از جمله سنسورهای نور، دما، رطوبت و گاز انجام می شود. این سنسورها می توانند به طور خودکار لوازم خانگی را بدون دخالت انسان با تبادل داده ها به صورت سیگنال با یک مرکز کنترل کنترل کنند. اخیراً فناوری‌های ارتباطی جدید با فرصت‌های ارتباطی دوربرد بر روی باندهای بدون مجوز پیشنهاد شده‌اند و بیشتر آنها برای اتوماسیون خانه‌های هوشمند مناسب هستند. این فناوری‌ها شامل اینترنت اشیاء باند باریک (NB-IoT)[1]، تکامل بلندمدت (LTE)[2] و تکامل طولانی مدت (LTE-A) و همچنین فناوری‌های انرژی کم انرژی WHAN[3] متصل به اینترنت اشیاء و بلوتوث (BLE)[4] هستند. در میان فناوری‌های بی‌سیم، WHAN متصل به اینترنت اشیاء کمترین انرژی مصرفی را دارد. شبکه بی سیم WHAN متصل به اینترنت اشیاء در مقایسه با سایر شبکه های بی سیم (وای فای و بلوتوث) مزایای زیادی دارد که از آن

[1] Narrowband IoT
[2] Long Term Evolution
[3] Wireless Local Area Network (WLAN)
[4] Bluetooth Low Energy (BLE)

جمله می توان به کم هزینه بودن، مصرف انرژی کم و سرعت کم داده اشاره کرد. بنابراین برای کاربردهای خانه هوشمند مناسب است. می توان از آن برای جمع آوری اطلاعات انرژی و ارائه مدیریت هوشمند لوازم خانگی در زمان واقعی استفاده کرد [۸و۵]. در این دیدگاه، یک کنترل‌کننده هوشمند متمرکز درنظرگرفته می شود تا از طریق ماژول های نظارتی مختلف، ویژگی های کنترل مشخص شده را به صاحب خانه ارائه دهد. پنل اصلی خانه هوشمند داده‌های برق مصرفی هر وسیله در خانه را در زمان واقعی جمع‌آوری می‌کند و سپس توزیع تقاضای بهینه را برای وسایل قابل برنامه ریزی اجرا می‌کند. کنتورهای هوشمند به عنوان یک رابط ارتباطی مشترک بین شبکه برق و خانه هوشمند در استقرار واقعی استفاده می‌شوند. به این ترتیب کنتور هوشمند سیگنال پاسخ تقاضا را از شبکه برق به عنوان ورودی خانه دریافت می کند و سپس مرکز کنترل بهینه سازی زمان بندی لوازم خانگی را اجرا می کند. از سوی دیگر، استفاده از انرژی های تجدیدپذیر در خانه های هوشمند یک گزینه جالب برای صرفه جویی در انرژی تامین شده توسط شبکه برق و در نتیجه صرفه جویی در هزینه و کاهش قبوض برق با امکان سود از فروش انرژی مازاد به شبکه برق است. علاوه بر این، فناوری اینترنت اشیاء برای اتصال همه لوازم در خانه هوشمند با مرکز سیستم مدیریت انرژی خانه هوشمند (HEMS)[1] استفاده می شود. پلتفرم اصلی اینترنت اشیاء متشکل از لایه‌های مختلف برای جمع‌آوری داده‌ها علاوه بر نظارت و مدیریت مصرف انرژی استفاده می‌شود. در این پلتفرم تمامی منابع انرژی و لوازم خانگی متصل و گنجانده شده است. هر لایه مسئول یکی از عملکردهای اساسی سیستم است. بنابراین، یک لایه مسئول منابع انرژی، لایه دیگر برای لوازم خانگی، لایه سوم مسئولیت شبکه ارتباطی، چهارم برای مدیریت انرژی، پنجم برای کنترل کننده خانه هوشمند و در نهایت لایه ششم مسئولیت IoT را بر عهده دارد. خدمات لایه ها تامین انرژی شامل تمام منابع انرژی موجود برای تغذیه خانه است و تقسیم انرژی بین این منابع را برای تامین نیازهای بار تعیین می کند. لوازم خانگی بر وضعیت تمام لوازم خانگی نظارت و کنترل می کند. پروتکلی که ارتباط بین لوازم خانگی متصل و اینترنت را تنظیم می کند، در لایه شبکه ارتباطی نقش دارد. برای کاهش هزینه انرژی، بهره برداری از بار خانه بسته به اصل قیمت گذاری از طریق لایه مدیریت انرژی اجرا می شود. لایه کنترل کننده خانه هوشمند، نظارت و زنگ هشدار خانه هوشمند را با در نظر گرفتن هرگونه تغییر در بار تنظیم می کند. در نهایت، داده‌های جمع‌آوری‌شده هم از منابع انرژی و هم از لوازم خانگی در یک حافظه ذخیره‌سازی موجود در لایه خدمات اینترنت اشیاء ذخیره می‌شوند. همچنین داده های جمع آوری شده در این لایه به منظور استفاده بهینه از آن تجزیه و تحلیل می شوند. در تحقیقات مرتبط به ابعاد مختلفی از مساله مدیریت انرژی در خانه های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء اشاره شده است که در بخش بعد از مهم ترین ابعاد و برخی تحقیقات مرتبط اصلی را بررسی و معرفی می نمائیم.

۳. تحقیقات مرتبط

تحقیقات در زمینه مدیریت موثر انرژی از دهه ۷۰ میلادی آغاز شد؛ هرچند در آن زمان فناوری‌های سنتی و سیستم‌های مکانیکی مرسوم بودند. با ورود فناوری‌های الکترونیکی پیشرفته و رایانه‌های شخصی، مباحث مربوط به بهینه‌سازی مصرف انرژی و بهره‌وری سیستم‌ها گسترش یافت. آغاز عصر اینترنت اشیاء در اوایل دهه ۲۰۱۰، نقطه عطفی در توسعه خانه‌های هوشمند محسوب می‌شد. در این دوره، پژوهشگران به ایجاد شبکه‌های حسگر و سامانه‌های اتوماسیون خانگی پرداختند که امکان تعامل بین دستگاه‌ها و مدیریت متمرکز منابع انرژی را فراهم ساخت [۱۰-۹]. مطالعات اولیه عمدتاً بر روی کنترل دما، نورپردازی و ایمنی متمرکز بود، اما در سال‌های اخیر با پیشرفت الگوریتم‌های یادگیری ماشین و تحلیل داده‌های بزرگ، پژوهش‌ها به بررسی پیش‌بینی مصرف انرژی و بهبود کارایی سامانه‌های هدایتی پرداخته‌اند. بسیاری از پژوهشگران به بررسی ابعاد مختلف مساله مدیریت انرژی پرداخته‌اند. در حوزه پژوهش برخی از ابعاد مهم مدیریت انرژی موثر درخانه های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء و مطالعات کاربردی و مهم در این حوزه عبارتند از:

- توسعه و ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی مصرف انرژی: پژوهش‌هایی مانند [۱۴-۱۱]، با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، روند مصرف انرژی را پیش‌بینی و بهینه می‌کنند. این مدل‌ها علاوه بر کاهش هزینه‌های انرژی، به کاهش بار سیستم‌های تبدیل و توزیع انرژی نیز کمک کرده‌اند.
- ارزیابی سنسورها و دستگاه‌های ارتباطی: تحقیقات دیگری [۱۵و۹] به انتخاب دقیق سنسورهای دما، رطوبت و نورپردازی پرداخته [۱۶] و ارزیابی کرده‌اند

[1] Home Energy Management System (HEMS)

که چگونه دقت این سنسورها و سرعت انتقال داده‌ها در کاهش مصرف انرژی مؤثر هستند.

- استانداردها و پروتکل‌های ارتباطی: استفاده از پروتکل‌های امن مانند MQTT [۱۶]، CoAP [۱۷] و ZigBee [۱۸] در ایجاد ارتباطات پایدار و به‌موقع بین دستگاه‌ها، از دیگر زمینه‌های مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. مطالعات جدید نشان می‌دهند که انتخاب پروتکل صحیح، نقشی حیاتی در افزایش کارایی و امنیت سامانه‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء دارد [۱۹].
- مدیریت داده و الگوریتم‌های بهینه‌سازی: برخی مطالعات اخیر [۱۷و ۱۲] به بررسی چالش‌های مربوط به مدیریت حجم عظیم داده‌ها و استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای پردازش در زمان واقعی پرداخته‌اند. برخی از این تحقیقات مانند [۲۰و۱۴] تاکید بر اهمیت زیرساخت‌های داده محور و پردازش های حاشیه‌ای[1] و نامتمرکز دارند.

تحقیقات مرتبط بررسی شده علاوه بر ارائه راهکارهای فنی، پیشنهاداتی جهت استانداردسازی و سیاست‌گذاری در سطح کلان نیز ارائه داده‌اند تا امکان پذیرش گسترده‌تر فناوری‌های هوشمند در جامعه فراهم گردد. در بخش بعدی معیارهای بنیادین در دیدگاه پیشنهادی را بررسی و طبقه بندی می‌نماییم.

۴. جنبه های اصلی و معیارهای مدیریت موثر انرژی

در دیدگاه مدیریت انرژی در خانه‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء پارامترها و جنبه‌های مهم متعددی وجود دارد که هم از دیدگاه فنی و هم از دیدگاه مدیریتی و اقتصادی اهمیت دارند. در ادامه ابتدا به بررسی ابعاد اصلی مساله و سپس به بررسی و رده-بندی جامع معیارها و پارامترهای مدیریت انرژی در خانه‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء پرداخته می‌شود. بررسی‌ها بر اساس نتایج حاصل از مطالعات متعدد اخیر در حوزه اینترنت اشیاء و مدیریت انرژی در خانه‌های هوشمند و همچنین مقالات و منابع علمی معتبر سال‌های اخیر ارائه شده است. در ادامه بمنظور شناسائی و رده‌بندی معیارهای ارزیابی، مهم‌ترین ابعاد مساله مدیریت موثر انرژی در خانه های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء به تفکیک توضیح داده شده‌اند [۲۱-۲۳و۱۲]:

سنسورها و جمع‌آوری داده‌ها

- دقت و کیفیت سنسورها: استفاده از سنسورهای دقیق (برای اندازه‌گیری دما، رطوبت، نور، حرکت و سایر پارامترهای محیطی) برای اطمینان از جمع‌آوری داده‌های صحیح جهت کنترل بهینه سیستم‌های مدیریت انرژی ضروری است [۱۰].
- رصد و جمع‌آوری داده در زمان واقعی: سنسورها اطلاعات را به صورت پیوسته جمع‌آوری کرده و به سیستم‌های مدیریت ارسال می‌کنند، که امکان نظارت لحظه‌ای بر مصرف انرژی را فراهم می‌سازد.

شبکه‌ها و پروتکل‌های ارتباطی

- ارتباط بین دستگاه‌ها: سیستم‌های خانه هوشمند از شبکه‌های بی‌سیم مانند Wi-Fi ، Zigbee، Thread و پروتکل‌های امن انتقال داده استفاده می‌کنند تا سنسورها، دستگاه‌های کنترلی و سیستم‌های مرکزی بتوانند به‌سادگی با یکدیگر ارتباط برقرار کنند [۱۶].
- پایداری و پوشش شبکه: انتخاب پروتکل‌های مناسب تأمین‌کننده سرعت، پایداری و امنیت انتقال داده‌ها به خصوص در محیط‌هایی با تعداد زیاد دستگاه‌های متصل اهمیت ویژه‌ای دارد.

پردازش و تحلیل داده‌ها

- پردازش در لبه[2] : به دلیل محدودیت زمان‌بندی واکنش‌های اضطراری، پردازش اولیه داده‌ها در نقاط نزدیک به منبع (سنسورها) با استفاده از دستگاه‌های به اصطلاح لبه ای Edge یا Fog صورت می‌گیرد تا زمان تأخیر کاهش یابد.
- کلان داده و پردازش ابری : داده‌های پیچیده‌تر و تجزیه و تحلیل‌های عمیق‌تر ممکن است به بسترهای ابری منتقل شوند تا با استفاده از الگوریتم‌های پیش‌بینی، مدل‌های یادگیری ماشین و تحلیل‌های داده، الگوهای مصرف انرژی شناسایی و بهینه‌سازی شوند.

[1] Edge Computing

[2] Edge/Fog Computing

کنترل و اتوماسیون

- سیستم‌های اتوماسیون هوشمند: بر اساس تحلیل داده‌ها، سیستم‌های اتوماسیون قادرند زمان‌بندی روشن/خاموش کردن تجهیزات، تنظیم دما و کنترل خودکار سایر وسایل مصرف‌کننده انرژی را بدون دخالت مستقیم کاربر اجرا کنند [۱۵].
- پاسخگویی به تغییرات محیطی: سیستم‌های هوشمند با واکنش سریع به تغییر شرایط محیطی (مانند ورود یا خروج افراد، تغییر دما یا نور) می‌توانند مصرف انرژی را بهینه کرده و از هدر رفتن انرژی جلوگیری کنند.

امنیت و حریم خصوصی

- حفاظت از داده‌ها: جمع‌آوری و انتقال داده‌های مربوط به مصرف انرژی و اطلاعات شخصی کاربران، نیازمند استفاده از رمزنگاری قوی و پروتکل‌های امن است تا از حملات سایبری و نشت اطلاعات جلوگیری شود [۹].
- مدیریت دسترسی: مکانیزم‌های احراز هویت و کنترل دسترسی به دستگاه‌ها و داده‌های جمع‌آوری شده نقش مهمی در حفظ حریم خصوصی کاربران دارند.

بهینه‌سازی اقتصادی و زیست محیطی

- کاهش هزینه‌ها: استفاده بهینه از منابع انرژی با اتوماسیون دقیق و پیش‌بینی تغییرات و نوسانات مصرف می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌های برق و بهبود کارایی اقتصادی شود [۱۱].
- پایداری محیط زیست: مدیریت هوشمند انرژی به کاهش ردپای کربنی و بهبود بهره‌وری انرژی کمک می‌کند؛ این امر در راستای اهداف توسعه پایدار و کاهش اثرات زیست محیطی بسیار حیاتی است.

یکپارچگی و استانداردسازی

- استانداردهای ارتباطی و پلتفرم‌های یکپارچه: استفاده از استانداردهایی مانند Matter یا EEBUS می‌تواند تضمین کند که دستگاه‌های مختلف از شرکت‌ها و تولیدکنندگان گوناگون بتوانند به‌طور یکپارچه کار کرده و به تبادل داده بپردازند [۱۴]. این موضوع، هم بهبود هم‌افزائی[1] و هم کاهش پیچیدگی‌های نصب و راه‌اندازی سیستم‌های خانه هوشمند را ممکن می‌سازد.

تجزیه و تحلیل پیش‌بینی و کنترل هوشمند

- استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین: بکارگیری مدل‌های یادگیری عمیق و تقویتی جهت پیش‌بینی الگوهای مصرف انرژی و اتخاذ تصمیمات بهینه، از جنبه‌های نوین این حوزه محسوب می‌شود. این روش‌ها می‌توانند به بهبود دقت تنظیمات سیستم و کاهش مصرف بی‌رویه انرژی کمک کنند.

همچنین لازم به ذکر است، مدیریت هوشمند و موثر انرژی در خانه های هوشمند با استفاده از اینترنت اشیاء بر ترکیبی از عوامل تکنولوژیکی، عملیاتی و رفتاری متکی است. لذا براساس جنبه های اصلی مساله که در بخش قبلی بررسی و توصیف گردید، مهم‌ترین پارامترها و معیارهای تاثیرگزار بر مدیریت موثر وکارای انرژی در خانه های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء بر اساس موارد زیر قابل تفکیک و رده بندی می باشند [۲۴و۱۱و۷-۶] :

معیارهای فنی و تکنیکی

- دقت مانیتورینگ و پایش:
  - رصد سنسورها و ابزار اندازه‌گیری: استفاده از سنسورهای دقیق (مثلاً دما، رطوبت، نور و حضور) از ضروری‌ترین موارد است. صحت داده‌های ورودی مستقیماً بر اثربخشی سیستم‌های پیش‌بینی مصرف انرژی تأثیر می‌گذارد.
  - بهبود کیفیت داده و پیش‌پردازش: به‌کارگیری تکنیک‌های پیش‌پردازش مانند فیلترسازی نویز و تکمیل داده‌های ناقص برای اطمینان از صحت اطلاعات ورودی که پایه‌ی تصمیم‌گیری‌های بعدی است.
- زیرساخت شبکه‌های ارتباطی و پروتکل‌ها:
  - پروتکل‌های ارتباطی: استفاده از پروتکل‌های موثر مانندMQTT ، CoAP، ZigBeeو WiFi که علاوه بر کم‌مصرف بودن، سرعت و امنیت انتقال داده را فراهم می‌کنند [۱۸-۱۶].

[1] Interoperability

- پایداری و پوشش شبکه: طراحی شبکه‌ای که پایدار بوده و بتواند در محیط‌های پر ترافیک و چنددستگاهی بدون افت کیفیت عمل کند.

- تجزیه و تحلیل داده‌ها:
  - پردازش در لبه و پردازش ابری: انتخاب معماری مناسب براساس نیازهای زمان واقعی و حجم داده‌های ارسال شده. پردازش در لبه می‌تواند زمان پاسخ‌دهی را به شدت کاهش دهد.
  - الگوریتم‌های یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی: استفاده از الگوریتم‌های پیش‌بینی برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی مصرف انرژی، که با تحلیل دقیق داده‌ها کمک به تصمیم‌گیری هوشمندانه می‌کند.

معیارهای مدیریتی و پایش عملکرد

- مانیتورینگ و کنترل بلادرنگ:
  - داشبوردهای مدیریتی: ارائه ابزارهای بصری جهت رصد، نظارت و کنترل لحظه‌ای سیستم. این داشبوردهای مدیریتی امکان تشخیص سریع اشکالات و اتخاذ اقدام به موقع را فراهم می‌آورند.
  - کنترل خودکار: طراحی سیستم‌های اتوماسیون جهت تنظیم خودکار تجهیزات بر اساس الگوهای مصرف و شرایط محیطی در خانه هوشمند.
- صیانت از امنیت و حریم خصوصی:
  - رمزنگاری و احراز هویت: استفاده از استانداردهای رمزنگاری اطلاعات و سیستم‌های احراز هویت قوی جهت اطمینان از عدم دسترسی غیرمجاز به سیستم‌های خانه‌های هوشمند.
  - پروتکل‌های امنیتی: انتخاب پروتکل‌های امن در تبادل داده‌ها و ارتباط بین دستگاه‌ها، که به کاهش نقض‌های امنیتی کمک شایانی می‌کند.
- تطابق، انعطاف‌پذیری و مقیاس‌پذیری سیستم:
  - امکان گسترش سیستم: سیستم باید به گونه‌ای طراحی شود که با افزایش تعداد دستگاه‌ها یا تغییر نیازهای کاربران بدون اختلال عملکرد اصلی گسترش یابد.
  - سفارشی‌سازی: ارائه قابلیت‌های تنظیمات سفارشی برای تطبیق سیستم با الگوهای مصرف متفاوت کاربران و محیط‌های متنوع.

معیارهای محیط استقرار و بهره‌وری انرژی

- بهینه‌سازی متریک های مصرف انرژی:
  - هماهنگی با تجهیزات مصرف‌کننده: هماهنگ‌سازی دقیق بین تجهیزات خانگی با هدف کاهش مصرف اضافی (مثلاً تنظیم زمان‌بندی روشنایی، تهویه و سیستم‌های گرمایشی/سرمایشی).
  - توزیع و مدیریت بار و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر: ادغام و بهینه‌سازی منابع انرژی تجدیدپذیر مانند خورشیدی و بادی با سامانه‌های مدیریت موثر انرژی، جهت کاهش وابستگی به شبکه‌های مدیریتی سنتی و کاهش اثرات منفی زیست محیطی.
- استانداردسازی، پایداری و اثرات زیست‌محیطی:
  - کاهش ردپای کربنی: طراحی سیستم‌هایی که در کنار کاهش مصرف انرژی، به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز کمک می‌کنند.
  - تطبیق با استانداردهای زیست‌محیطی: اعمال استانداردهای بین‌المللی و ملی در طراحی و اجرای سیستم‌های مدیریت انرژی جهت تضمین پایداری محیط زیست و تعدیل اثرات منفی.

معیارهای ارزیابی عملکرد و کارائی سیستم

- شاخص‌های کلیدی عملکرد[1] :
  - تعیین معیارهای سنجش مانند صرفه‌جویی انرژی، زمان پاسخ‌دهی سیستم، درصد کاهش هزینه‌ها و کارایی سیستم از الزامات نظارتی است.
  - استفاده از بازخورد کاربران و ارزیابی دوره‌ای جهت بهبود مستمر و تطبیق سیستم با نوسانات و تغییرات نیازهای مصرفی.

[1] Key Performance Indicators (KPIs)

- ارزیابی مداوم و بهینه‌سازی:
  - تحلیل دوره‌ای کارکردها و بررسی داده‌های جمع‌آوری شده و به‌کارگیری الگوریتم‌های بهینه‌سازی جهت بهبود عملکرد و کاهش خطاها.
  - استفاده از سیستم‌های یادگیری مداوم برای تطبیق خودکار سیستم با تغییرات محیطی و الگوهای مصرف.

همچنین معیارهای کلیدی مورد استفاده برای ارزیابی مدیریت انرژی موثر در خانه های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء که در تحقیقات مرتبط مورد استفاده قرار گرفته شده است به شرح زیر می باشند [۲۵و۲۲و۱۸] :

- مصرف کل انرژی (کیلووات ساعت): انرژی کلی مصرف شده در طول زمان را اندازه گیری می کند.
  - مصرف انرژی در هر دستگاه: مصرف انرژی توسط دستگاه ها یا سیستم های جداگانه را ردیابی می کند.
  - تقاضای اوج بار: حداکثر تقاضای توان را در یک دوره خاص نظارت می کند.
  - تغییرپذیری مصرف انرژی: نوسانات مصرف انرژی را اندازه گیری می کند که نشان دهنده ثبات و پیش بینی پذیری معیارهای انرژی است.
- معیارهای کارایی و عملکرد نسبت بهره وری انرژی (EER): خروجی این معیار (سرمایش/گرمایش) به ازای واحد برق مصرفی می‌باشد.
  - اثربخشی مصرف برق[1] (IPC) : این معیار نسبت کل انرژی خانه به انرژی مصرف شده توسط سیستم های اصلی و ایده‌آل است.
  - اثربخشی مصرف برق[2] (RPC) : اثربخشی انرژی مصرف شده توسط دستگاه ها را در حالت آماده به کار اندازه گیری می‌کند.
- معیارهای صرفه جویی در هزینه انرژی (٪): تفاوت در قبوض آب و برق قبل و بعد از اجرای طرح مدیریت انرژی و سیستم هوشمند مربوطه را اندازه گیری می‌نماید.
  - هزینه به ازای هر کیلووات ساعت ذخیره شده: این هزینه معیار اقتصادی افزایش بهره وری می باشد.
  - بازگشت سرمایه (ROI) [3]: زمان لازم برای بازیابی هزینه های سیستم های انرژی هوشمند است.
- اتوماسیون و معیارهای کنترل [4] (%): درصد دستگاه ها یا سیستم هایی که خودکار هستند را مشخص می‌نماید.
  - زمان پاسخ به ورودی کاربر یا تغییرات محیطی: سرعت واکنش سیستم ها به تقاضاهای کاربری و یا تغییرات محیطی (مانند اشغال، نور خورشید) است.
  - درصد عملیات برنامه ریزی شده در مقابل عملیات دستی: نشان می دهد که چه مقدار از مصرف انرژی به طور فعال مدیریت می شود.
  - معیارهای تعامل و رفتار کاربر و فرکانس تعامل کاربر: تعداد دفعاتی که کاربران داشبوردها را چک می کنند یا تنظیمات را انجام می دهند را اندازه گیری می کند.
  - نرخ انطباق کاربر: هر چند وقت یکبار کاربران پیشنهادات یا هشدارهای صرفه جویی در مصرف انرژی را دنبال می کنند.
  - شاخص رفتار صرفه جویی در انرژی: امتیاز سفارشی بر اساس عادت هایی که مصرف انرژی را کاهش می دهد.
- معیارهای ارزیابی پایداری کاهش انتشار کربن (CO_2) : انتشار تخمینی کاهش یافته با استفاده از سیستم های هوشمند را ارزیابی می نماید.
  - درصد استفاده از انرژی های تجدیدپذیر (٪): سهم انرژی تامین شده توسط انرژی های خورشیدی، بادی و غیره را ارزیابی می نماید.
  - کارایی ذخیره سازی باتری: اثربخشی ذخیره و استفاده مجدد انرژی در باتری های خانگی را اندازه می‌گیرد.
- معیارهای قابلیت اطمینان و امنیت سیستم و برپایی و Uptime سیستم (٪): این معیارها مبین زمانی هستند که در طی آن سیستم هوشمند انرژی کاملاً کاربردی، قابل اطمینان، برقرار و ایمن است.
  - نرخ خطایابی (FDR)[5]: تعداد ناهنجاری ها یا عیب های شناسایی شده توسط سیستم را نشان می دهد.
  - نقض امنیت داده ها: حوادث مربوط به حریم خصوصی را رصد و نظارت می نماید.

[1] Idael Power Consumption (IPC)
[2] Ready Power Consumption (RPC)
[3] Return on Investment (ROI)
[4] Automation Coverage
[5] Fault Detection Rate (FDR)

لازم به ذکر است، جوانب و معیارهای بررسی و رده بندی شده تاثیرگزارترین و بنیادی ترین پارامترهای مدیریت موثر انرژی در خانه هوشمند مبتنی بر زیرساخت اینترنت اشیاء می باشند. براساس جنبه های اصلی مساله و معیارهای بررسی و طبقه بندی شده، نظارت در زمان واقعی و تجزیه و تحلیل داده ها سنسورها و کنتورهای هوشمند به طور مداوم مصرف انرژی را ردیابی می کنند. تجزیه و تحلیل داده ها در زمان واقعی به شناسایی الگوها، زمان اوج استفاده و ناهنجاری ها کمک می کند. تجزیه و تحلیل پیش بینی کننده نیازهای انرژی آینده را بر اساس رفتار گذشته و شرایط محیطی پیش بینی می کند. اتوماسیون و سیستم های کنترل دستگاه‌های هوشمند و سیستم‌های HVAC می‌توانند عملکردها را بر اساس داده‌های زمان واقعی تنظیم کنند (به عنوان مثال، ترموستات‌ها دما را بر اساس میزان اشغال تنظیم می‌کنند). نورپردازی و سایه زنی خودکار برای کاهش استفاده غیر ضروری بکار می رود. همچنین قابلیت همکاری و یکپارچگی دستگاه‌ها باید با استفاده از پروتکل‌هایی مانند Zigbee ، Z-Wave، MQTT یا Wi-Fi به‌طور یکپارچه ارتباط برقرار کنند. ادغام با شبکه های انرژی و ارائه دهندگان خدمات، پاسخگویی به تقاضا و قیمت گذاری پویا را ممکن می سازد. سیستم‌ها برای بهینه‌سازی مصرف انرژی بدون تأثیرگذاری بر راحتی، رفتار کاربر را یاد می‌گیرند و با آن سازگار و منطبق می‌شوند.

۵. نتیجه‌گیری و راهکارهای آتی

با توجه به پیشرفت‌های اخیر در حوزه اینترنت اشیاء و هوش مصنوعی، مدیریت هوشمند و موثر انرژی در خانه‌های هوشمند امری ضروری به شمار می‌رود. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته، از جمله سنسورهای دقیق، الگوریتم‌های پیش‌بینی هوشمند و پروتکل‌های ارتباطی امن، به بهبود کارایی سامانه‌های انرژی محور کمک شایانی می‌کند. علاوه بر جنبه‌های فنی، استانداردسازی و تدوین مقررات مشخص از جمله الزامات موفقیت در گسترش این فناوری است. همانطور که در این پژوهش بیان شد، مدیریت انرژی در خانه‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء مستلزم تلفیق دقیق معیارهای فنی، مدیریتی، ارزیابی و محیطی است. استفاده از سنسورهای دقیق، انتخاب مناسب پروتکل‌های ارتباطی، بکارگیری پردازش‌های ابری و لبه، و همچنین به‌کارگیری الگوریتم‌های پیش‌بینی و بهینه‌سازی از مهم‌ترین پارامترها در بهبود کارایی سیستم‌ها است. همچنین، توجه به امنیت، حریم خصوصی، انعطاف‌پذیری و هماهنگی با تجهیزات مصرف‌کننده می‌تواند نقش بسزایی در ایجاد یک سامانه هوشمند و بهینه داشته باشد. از سوی دیگر، ارزیابی مداوم عملکرد و استفاده از شاخص‌های کلیدی به مدیران امکان می‌دهد که با دریافت بازخورد مناسب و به‌کارگیری الگوریتم‌های خودسازمان‌ده، سامانه را به‌طور مستمر بهبود بخشند. چنین رویکرد جامع نه تنها بهینه‌سازی مصرف انرژی را تضمین می‌کند بلکه زمینه‌ساز توسعه پایدار، ارتقای امنیت و افزایش کیفیت زندگی در محیط‌های خانه‌های هوشمند خواهد بود. مدیریت انرژی در خانه‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء شامل یک مجموعه‌ی پیچیده از جنبه‌های فنی، مدیریتی و زیست محیطی است. اتصال سنسورها و دستگاه‌های مختلف، پردازش و تحلیل داده‌ها به کمک لایه‌های Edge و Cloud ، اتوماسیون سیستم‌ها بر مبنای الگوریتم‌های هوشمند، رعایت امنیت و حفظ حریم خصوصی، و پیاده‌سازی استانداردهای یکپارچه از مهم‌ترین عناصر موفقیت در این حوزه می‌باشند. پیاده‌سازی صحیح این جنبه‌ها نه تنها بهره‌وری انرژی را افزایش می‌دهد بلکه تاثیرات مثبت اقتصادی و محیط زیستی قابل توجهی را نیز به همراه دارد. این جنبه‌ها در کنار یکدیگر باعث می‌شوند تا سیستم‌های مدیریت انرژی هوشمند نه تنها پاسخگوی نیازهای مصرف‌کننده باشند، بلکه به عنوان اجزای مهمی در تحقق اهداف پایداری و کاهش هزینه‌های انرژی عمل کنند. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آتی به بررسی هم‌افزایی بین فناوری‌های نوین و روش‌های مدیریت انرژی بپردازند تا بتوان از پتانسیل کامل خانه‌های هوشمند در بهبود بهره‌وری انرژی بهره برد. در نهایت، توجه به جنبه‌های امنیتی و حریم خصوصی کاربران همراه با بهینه‌سازی مصرف انرژی، از موضوعات حیاتی در تحقیقات آینده خواهد بود و می‌تواند به عنوان پل ارتباطی بین فناوری و رفاه اجتماعی عمل کند.

مراجع

[1] Sun J, Gan W, Chao HC, Yu PS, Ding W. Internet of behaviors: A survey. IEEE Internet of Things Journal. 2023 Feb 22;10(13):11117-34.

[2] Laghari AA, Wu K, Laghari RA, Ali M, Khan AA. A review and state of art of Internet of Things (IoT). Archives of Computational Methods in Engineering. 2021 Jul 14:1-9.

[3] Nguyen DC, Ding M, Pathirana PN, Seneviratne A, Li J, Niyato D, Dobre O, Poor HV. 6G Internet of Things: A comprehensive survey. IEEE Internet of Things Journal. 2021 Aug 9;9(1):359-83.

[4] Ejaz W, Naeem M, Shahid A, Anpalagan A, Jo M. Efficient energy management for the internet of things in smart cities. IEEE Communications magazine. 2017 Jan 19;55(1):84-91.

[5] Tastan M. Internet of things based smart energy management for smart home. KSII Transactions on Internet and Information Systems (TIIS). 2019;13(6):2781-98.

[6] Rajesh P, Shajin FH, Kannayeram G. A novel intelligent technique for energy management in smart home using internet of things. Applied Soft Computing. 2022 Oct 1;128:109442.

[7] Ehsanifar M, Dekamini F, Spulbar C, Birau R, Khazaei M, Bărbăcioru IC. A sustainable pattern of waste management and energy efficiency in smart homes using the internet of things (IoT). Sustainability. 2023 Mar 13;15(6):5081.

[8] Ruiz DP, Vasquez RA, Jadan BV. Predictive Energy Management in Internet of Things: Optimization of Smart Buildings for Energy Efficiency. Journal of Intelligent Systems & Internet of Things. 2023 Nov 15;10(2).

[9] Aliero MS, Qureshi KN, Pasha MF, Jeon G. Smart Home Energy Management Systems in Internet of Things networks for green cities demands and services. Environmental Technology & Innovation. 2021 May 1;22:101443.

[10] Natarajan A, Krishnasamy V, Singh M. Occupancy detection and localization strategies for demand modulated appliance control in Internet of Things enabled home energy management system. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2022 Oct 1;167:112731.

[11] Koltsaklis N, Panapakidis I, Christoforidis G, Knápek J. Smart home energy management processes support through machine learning algorithms. Energy Reports. 2022 Jun 1;8:1-6.

[12] Alzoubi A. Machine learning for intelligent energy consumption in smart homes. International Journal of Computations, Information and Manufacturing (IJCIM). 2022 May 28;2(1).

[13] Pinthurat W, Surinkaew T, Hredzak B. An overview of reinforcement learning-based approaches for smart home energy management systems with energy storages. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2024 Sep 1;202:114648.

[14] Deepa N, Devi T, Rakesh Kumar S, Gayathri N. A Novel-Based Smart Home Energy Management System for Energy Consumption Prediction Using a Machine Learning Algorithm. Sustainable management of electronic waste. 2024 Feb 19:79-95.

[15] Khoa TA, Nhu LM, Son HH, Trong NM, Phuc CH, Phuong NT, Van Dung N, Nam NH, Chau DS, Duc DN. Designing efficient smart home management with IoT smart lighting: a case study. Wireless communications and mobile computing. 2020;2020(1):8896637.

[16] Affum EA, Agyeman-Prempeh K, Adumatta C, Ntiamoah-Sarpong K, Dzisi J. Smart home energy management system based on the internet of things (IoT). International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2021;12(2):722-30.

[17] Taghizad-Tavana K, Ghanbari-Ghalehjoughi M, Razzaghi-Asl N, Nojavan S, Alizadeh AA. An overview of the architecture of home energy management system as microgrids, automation systems, communication protocols, security, and cyber challenges. Sustainability. 2022 Nov 29;14(23):15938.

[18] Shahinzadeh H, Azani Z, Al-Hameedawi SF, Zanjani SM, Mehrabani-Najafabadi S, Hemmati M. Smart Home Connectivity: Identifying the Best IoT Application Layer Protocols. In2024 14th International Conference on Computer and Knowledge Engineering (ICCKE) 2024 Nov 19 (pp. 472-482). IEEE.

[19] Zaidan AA, Zaidan BB, Qahtan MY, Albahri OS, Albahri AS, Alaa M, Jumaah FM, Talal M, Tan KL, Shir WL, Lim CK. A survey on communication components for IoT-based technologies in smart homes. Telecommunication Systems. 2018 Sep;69:1-25.

[20] Shen Z, Jin J, Zhang T, Tagami A, Higashino T, Han QL. Data-driven edge computing: A fabric for

intelligent building energy management systems. IEEE Industrial Electronics Magazine. 2021 Nov 10;16(2):44-52.

[21] Mansouri SA, Ahmarinejad A, Nematbakhsh E, Javadi MS, Jordehi AR, Catalao JP. Energy management in microgrids including smart homes: A multi-objective approach. Sustainable Cities and Society. 2021 Jun 1;69:102852.

[22] Ruiz DP, Vasquez RA, Jadan BV. Predictive Energy Management in Internet of Things: Optimization of Smart Buildings for Energy Efficiency. Journal of Intelligent Systems & Internet of Things. 2023 Nov 15;10(2).

[23] Stojkoska BL, Trivodaliev KV. A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions. Journal of cleaner production. 2017 ;140:1454-64.

[24] Wang D, Zhong D, Souri A. Energy management solutions in the Internet of Things applications: Technical analysis and new research directions. Cognitive Systems Research. 2021 Jun 1;67:33-49.

[25] Yudidharma A, Nathaniel N, Gimli TN, Achmad S, Kurniawan A. A systematic literature review: Messaging protocols and electronic platforms used in the internet of things for the purpose of building smart homes. Procedia Computer Science. 2023 Jan 1;216:194-203.

COPYRIGHTS
©2024 by the authors. Published by the Islamic Azad University, Khodabandeh Branch, Zanjan. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by/4.0