Computational Economics
ISSN 2821-0433

Internet of Things and Energy Consumption: Examination and Analysis of Optimization Models

Amir Abbass Farahmand [1]✉, Mehdi Jafari [2], Amir Hossein Kasraee [3]

1*. Assistant Professor of Management, Department of Technology Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Corresponding Author, Email: a.farahmand47@hotmail.com
2. Assistant Professor of Economics, Department of Technology Economy, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: Mehdijafari@gmail.com
3. Ph. D Student in Management, Department of Industrial Management, Science & Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: Ahkasraee@gmail.com

Article Info

Received: 04/02/2024
Accepted: 22/09/2024

Pages: 53-76

Keywords:
Internet of Things; energy consumption; optimization; energy consumption modeling; optimization algorithm

JEL Classification:
Q40; Q49

ABSTRACT

The abstract of this research examines the application of new technologies in smart buildings and their effect on optimizing energy consumption and the efficiency of different systems. Using Internet of Things (IoT) technology and integrated systems, smart buildings create a dynamic and cost-effective environment that reduces energy consumption without compromising occupant comfort. In this regard, the current research has developed data transmission and routing models for the Internet of Things in smart buildings and investigated three different methods for authentication in these buildings. The results show that the Fractional Chaotic Particle Swarm Optimization (FCPSO) algorithm is the most suitable option for authentication in smart buildings by reducing the execution time and improving the efficiency. Also, the analysis of ZigBee and KNX networks has shown that each of these technologies has specific advantages for improving the communication and performance of various systems in smart buildings. ZigBee networks are suitable for widespread applications such as door locks and thermostats, while the KNX protocol provides greater resilience against failures due to the ability to operate on multiple physical layers.

COPYRIGHTS
©2023 by the authors. Published by the Islamic Azad University, West Tehran Branch. 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

Extended Abstract

Purpose

The Internet of Things is an extensive network of physical objects such as devices, machines, buildings, and other tools in which sensors, network connections, and software are embedded as a small system. The method of clustering things is one of the efficient methods to reduce energy consumption in the data transfer phase in the Internet of Things. In clustering, each cluster has a node called the cluster head, which is responsible for coordinating network operations and collecting data from sensor nodes. The most important objective of this study is to improve the amount of energy consumption in the data transfer cycle. Most of the communication and computing tasks should be completed within a limited period to avoid unfavorable consequences since IoT applications are very time-sensitive and critical. Thus, ensuring real-time support in large-scale IoT networks is one of the most important and challenging research issues.

Methodology

PSO, CPSO, and FCPSO algorithms were used in this study. Finally, the FCPSO algorithm was formulated using the theory of fractional order derivatives. MATLAB was used to simulate and evaluate IoT information security and PSO, CPSO, and FCPSO in smart buildings. Also, the results of the proposed method were compared with similar methods. Several parameters are affected. The values of these parameters strongly depend on the convergence improvement. In this study, the following parameters are considered when transferring data to the center or between things:

- Etx and Erx: energy used to transfer and receive data, respectively, in the nodes.
- Dij: distance between node i and node j.
- Eelec: energy available in each node.
- Fij: data transfer rate between two nodes.
- CS, CR, and CB: base station node cost, sensor node cost, and reinforcing node cost, respectively.

All simulations were performed in the Windows 10 operating system using quad-core 2.5 GHz processors, working frequency 2, and a memory capacity of 8 GB. The simulation was done in MATLAB 2020 software. Ten bench test functions were used to examine the effectiveness of the proposed algorithm.

Finding

In the scenario where the FCPSO method is used for information transfer, the energy consumption can be reduced by using the FCPSO method for optimization. The second test method uses the same described method to evaluate Etx and Erx parameters. These two parameters can be viewed as a single parameter whose value can be set arbitrarily for each thing. The FCPSO method performs better than the standard transfer mode in this test condition.

In this measurement, the amount of memory consumption (in megabytes) to complete authentication requests in smart buildings based on the Internet of Things has been investigated and compared based on the number of sent packages. The results indicate that the third method has the lowest memory consumption for more packets, while the proposed method could reduce the memory consumption for a high number of packets.

In the second test, the amount of energy required to transfer data from the source to the destination is evaluated. The number of data packets increased in each successive step. Results shows that the proposed method uses less energy than comparable methods.

The accuracy criterion shows how well the proposed technique can accurately display the identity in smart buildings based on the Internet of Things. Results compares the accuracy rate of the proposed technique for 188 unique identity effects with the accuracy of the second and third methods for different packets.

The simulation results indicate that the proposed method is more accurate than the second and third methods for identifying distinct packets in IoT-based smart buildings.

Conclusion

In this study, a model based on the cycle and transfer of information to the base station and between items was used for energy consumption and the Internet of Things network. The most crucial challenges in IoT routing are the energy consumption of each node, comparability, error tolerance, and network dynamics. It is necessary to evaluate the quality of a node using appropriate criteria for effective communication and information transfer. In this study, the energy used to transfer and receive data in nodes, the energy available in each node, the distance between two nodes, and the data transfer rate between two nodes were evaluated. Given the objective of this study, which is to optimize energy consumption in the Internet of Things, the FCPSO algorithm was used to reduce energy consumption during information transfer. Using the FCPSO algorithm to reduce energy consumption in the Internet of Things is possible due to the capability of the algorithm to optimize the problem by considering the number of parameters that can significantly affect the performance of the problem, which is the goal of many optimization problems. The simulation results revealed that using the FCPSO method improves and reduces energy consumption during the program execution and information transfer cycle. The most important limitation of this study is that there is not enough data to build an optimal model. Thus, the possibility for model non-convergence increases. Another crucial issue in this regard is the degree of computational complexity that new data transfer models require.

فصلنامه اقتصاد محاسباتی
شاپا ۰۴۳۳-۲۸۲۱

کارکرد اینترنت اشیا در مدل‌سازی و بهینه‌سازی مصرف انرژی

امیرعباس فرهمند [۱]*، مهدی جعفری [۲]، امیرحسن کسرائی [۳]

۱. * استادیار مدیریت، گروه مدیریت تکنولوژی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: a.farahmand47@hotmail.com
۲. استادیار اقتصاد، گروه اقتصاد، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، پست الکترونیکی: Mehdijafari@gmail.com
۳. دانشجوی دکتری مدیریت، گروه مدیریت صنعتی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، پست الکترونیکی: Ahkasraee@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی
صفحات ۵۳-۷۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۳/۲۵
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۷/۰۴

واژگان کلیدی:
بهینه‌سازی؛ مصرف انرژی؛ الگوریتم بهینه‌سازی؛ اینترنت اشیا؛ مدل‌سازی مصرف انرژی

طبقه‌بندی JEL:
Q40; Q49

چکیده

این تحقیق به بررسی کاربرد فناوری‌های نوین در ساختمان‌های هوشمند و تأثیر آن بر بهینه‌سازی مصرف انرژی و کارایی سیستم‌های مختلف می‌پردازد. ساختمان‌های هوشمند با استفاده از فناوری اینترنت اشیا (IoT) و سیستم‌های یکپارچه، محیطی پویا و کم‌هزینه ایجاد می‌کنند که میزان مصرف انرژی را، بدون کاهش آسایش ساکنین، کاهش می‌دهند. تحقیق حاضر به توسعه مدل‌های انتقال داده و مسیریابی برای اینترنت اشیا در ساختمان‌های هوشمند می پردازد، برای این منظور، سه روش مختلف برای احراز هویت در این ساختمان‌ها، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات مرتبه آشفته کسری (FCPSO) با کاهش زمان اجرا و بهبود کارایی، مناسب‌ترین گزینه برای احراز هویت در ساختمان‌های هوشمند است. همچنین، تحلیل شبکه‌های ZigBee و KNX نشان داده است که هر یک از این فناوری‌ها مزایای خاصی برای بهبود ارتباطات و عملکرد سیستم‌های مختلف در ساختمان‌های هوشمند دارند. شبکه‌های ZigBee برای کاربردهای گسترده ای مانند قفل درب و ترموستات مناسب هستند، در حالی که پروتکل KNX با توجه به قابلیت کارکرد بر روی چندین لایه فیزیکی، پایداری بیشتری در مقابل خرابی‌ها فراهم می‌کند.

۱. مقدمه

اینترنت اشیا، شبکه‌ای از اشیاء مجهز به حسگر، پردازنده و اتصالات شبکه است که به هم متصل شده‌اند و می‌توانند داده‌های خود را با یکدیگر و با انسان‌ها به اشتراک بگذارند (Al-Ali et al, 2017). سامانه‌های تعبیه‌شده در اشیاء فیزیکی، داده‌های محیط اطراف خود را جمع‌آوری می‌کنند و با یکدیگر مبادله می‌کنند. این امر به‌نوبه خود منجر به یکپارچه‌سازی سیستم‌های رایانه‌ای با جهان فیزیکی می‌گردد و به‌تبع آن، دقت، کارایی و بهره‌وری را ارتقاء می‌دهند. فعال‌کننده‌ها و حسگرها در اینترنت اشیا، به‌عنوان سامانه‌های سایبر–فیزیکی شناخته می‌شوند (Sedik et al., 2021). اینترنت اشیا شبکه‌ای از اشیاء فیزیکی مجهز به سنسور، پردازنده و اتصالات شبکه است که به هم متصل شده‌اند و می‌توانند داده‌های خود را با یکدیگر و با انسان‌ها به اشتراک بگذارند (پدیداران مقدم و همکاران، ۱۳۹۶). این شبکه می‌تواند برای ایجاد انواع سیستم‌های هوشمند مانند خانه‌های هوشمند، سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند و شهرهای هوشمند استفاده شود (Sun & Huang, 2012). در اینترنت اشیا، اجزای مختلف از طریق شبکه‌های سیمی و بی‌سیم با یکدیگر ارتباط بین اشیاء فیزیکی، به ما امکان می‌دهد تا به‌طور لحظه‌ای از دنیای واقعی آگاه شویم و با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده، به رویدادهای اضطراری پاسخ دهیم (Braham et al., 2015).

پیشرفت سریع ساختمان‌های هوشمند و نوآوری‌های مداوم در این زمینه، منجر به تحقیقات گسترده‌ای برای پیاده‌سازی طیف وسیعی از برنامه‌های کاربردی شده است (Kumar et al., 2021). ساختمان‌های هوشمند با استفاده از فناوری اینترنت اشیاء می‌توانند طیف گسترده‌ای از کاربردها را ارائه دهند که دراین‌بین می‌توان به مواردی مانند تسهیل مدیریت ساختمان، مدیریت انرژی، مدیریت هشدار واکنشی، اصلاح آسایش ساکنین، مدیریت رویدادهای مزاحم، حفاظت از دارایی‌ها و سایر موارد اشاره داشت. برای نمونه، چارچوب‌های ساختمان‌های هوشمند اینترنت اشیا آینده قادر خواهند بود تا به‌واسطه مدیریت تهویه مطبوع و گرمایش به‌صورت هوشمندانه، تحولی در زندگی انسان‌ها ایجاد کنند و مسائل احتمالی را با سرعت بیشتری مورد تجزیه‌وتحلیل قرار دهند (Miles et al., 2020). خانه‌های هوشمند با استفاده از فناوری اینترنت اشیاء می‌توانند امنیت و کنترل بیشتری را در اختیار ساکنان خود قرار دهند. برای مثال، با استفاده از سنسورها و دوربین‌های هوشمند، می‌توان از خانه در برابر سرقت و سایر حوادث محافظت کرد. همچنین، می‌توان با کنترل از راه دور دستگاه‌های مختلف، مانند سیستم روشنایی و گرمایش، راحتی و آسایش ساکنان را بهبود بخشید (Stergiou et al., 2020).

به‌طورکلی، گره‌های اینترنت اشیاء از منابع محدودی مانند توان پردازشی و انرژی برخوردار هستند . (Ever et al., 2019). به دلیل محدودیت‌های منابع، مانند توان پردازشی و انرژی، گره‌های اینترنت اشیاء در محیط‌های بدون برق، به باتری نیاز دارند. با توجه به محدودیت‌های باتری در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، تحقیقات زیادی برای کاهش مصرف باتری در این شبکه‌ها انجام شده است. در این تحقیقات،

الگوریتم‌ها و روش‌های مختلفی برای افزایش کارایی مصرف باتری توسعه یافته است. شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN) قادر هستند به‌منظور توسعه پلتفرم‌های متفاوت در بستر اینترنت اشیا، به‌عنوان بخشی از این نوع فناوری ایفای نقش کنند. چنین شبکه‌ای قادر هستند به‌منظور ارتقا الگوریتم‌های مسیریابی متفاوت مورداستفاده قرار گیرند که در عین زمان قادر هستند به‌منظور بهبود عملکرد، بهینه‌سازی گوناگونی ارائه دهند، برای مثال، مسیریابی فرصت‌طلبانه (Chakchouk, 2015) تلاش می‌کند تا داده‌ها را از طریق مسیرهای موجود به مقصد منتقل کند، درحالی‌که الگوریتم‌های حریصانه (Sangwan & Singh, 2015) تلاش می‌کنند تا کوتاه‌ترین مسیر را از منبع به مقصد پیدا کنند. تکنیک‌های خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر می‌توانند با کاهش تعداد گره‌های حسگر درگیر در انتقال داده‌ها، به کاهش مصرف انرژی کمک کنند. این امر می‌تواند طول عمر شبکه را افزایش دهد (Xu et al., 2017).

در مرحله انتقال اطلاعات در بستر اینترنت اشیا، یک روش مناسب برای تعدیل مصرف انرژی، خوشه‌بندی اشیا می‌باشد. در این روش، گره‌های حسگر، در قالب خوشه‌های کوچکی قرار می‌گیرند. در این حالت، هر خوشه یک سرخوشه دارد و این سرخوشه باید عملیات شبکه را هماهنگ کند و داده‌های گره‌های حسگر را جمع‌آوری نماید. در کنار جمع‌آوری داده‌های گره‌های حسگر توسط سرخوشه، بسته‌های داده ناخواسته و اضافی باید حذف گردند و این امر منجر به تعدیل تداخل و سربار می‌گردد. در عین زمان، پیچیدگی مسیریابی به‌واسطه کمینه کردن اندازه مسیریابی و تعداد گره‌ها توسط سرخوشه، کاهش می‌یابد؛ بنابراین، فرایند خوشه‌بندی منجر به افزار مقیاس‌پذیری و پایداری شبکه‌های حسگر می‌گردد. مکانیسم خوشه‌بندی علاوه بر کاهش مصرف انرژی، با متعادل کردن بار بین گره‌های عضو، کارایی و پایداری شبکه را نیز بهبود می‌بخشد. این امر با تخصیص وظایف شبکه بر اساس انرژی و حافظه باتری گره‌ها انجام می‌شود (Fanian & Rafsanjani, 2019).

در ساختمان‌های هوشمند، بهینه‌سازی مصرف انرژی با استفاده از فناوری‌های پیشرفته و سیستم‌های یکپارچه انجام می‌شود. این ساختمان‌ها با ترکیب داده‌های حسگرها، دستگاه‌ها و سیستم‌های مختلف، شرایط محیطی را به صورت خودکار تنظیم می‌کنند تا مصرف انرژی را به حداقل برسانند. از آنجا که انرژی مصرفی در بخش‌های مختلف ساختمان مانند گرمایش، سرمایش، روشنایی و تهویه بسیار بالاست، استفاده از IoT و روش‌های هوشمند می‌تواند به طور چشمگیری در کاهش این مصرف نقش داشته باشد. مسئله اصلی این است که چگونه می‌توان با استفاده از فناوری‌های نوین، علاوه بر کاهش مصرف انرژی، عملکرد سیستم‌ها و آسایش ساکنین را نیز بهبود بخشید. اهمیت بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های هوشمند از جنبه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی غیرقابل انکار است. با توجه به اینکه ساختمان‌ها از بزرگترین مصرف‌کنندگان انرژی در جهان هستند، کاهش مصرف انرژی در این بخش می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش هزینه‌های انرژی و همچنین کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته باشد. از این رو، استفاده از فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا در

مدیریت هوشمند ساختمان‌ها، نه تنها به کاهش هزینه‌ها کمک می‌کند، بلکه به حفاظت از محیط زیست و افزایش پایداری نیز منجر می‌شود.

مطالعه حاضر با تمرکز بر الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات مرتبه آشفته کسری (FCPSO)، توانسته است به نتایج قابل‌توجهی در زمینه کاهش زمان اجرا و بهبود کارایی احراز هویت در ساختمان‌های هوشمند دست یابد. این در حالی است که تحقیقات پیشین عمدتاً به بررسی روش‌های عمومی‌تر پرداخته و کمتر به جنبه‌های خاصی مانند احراز هویت و امنیت پرداخته‌اند. از این رو، این مطالعه با ارائه راهکارهای نوین و کارآمدتر، می‌تواند به عنوان یک مرجع ارزشمند برای بهینه‌سازی سیستم‌های هوشمند در ساختمان‌ها مورد استفاده قرار گیرد. چالش اصلی این تحقیق در یافتن راهکارهایی است که بتوانند همزمان مصرف انرژی و امنیت را در ساختمان‌های هوشمند بهینه کنند. از سوی دیگر، چالش دیگری که این تحقیق با آن مواجه است، محدودیت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری موجود در دستگاه‌های IoT است. این دستگاه‌ها معمولاً دارای منابع محدودی مانند باتری و توان پردازشی هستند که این امر محدودیت‌های قابل‌توجهی در پیاده‌سازی و اجرای الگوریتم‌های پیچیده ایجاد می‌کند. بنابراین، توسعه الگوریتم‌هایی که بتوانند با این محدودیت‌ها سازگار باشند و در عین حال کارایی بالایی داشته باشند، یکی از چالش‌های اصلی در این تحقیق محسوب می‌شود. رسیدن به راهکارهایی که بتوانند این چالش‌ها را با موفقیت پشت سر بگذارند، نیازمند تحقیقات عمیق و رویکردهای نوآورانه است.

۲. ادبیات موضوع

۲ـ۱. تأثیر اینترنت اشیا بر بهینه‌سازی مصرف انرژی

رشد سریع و فزاینده گجت‌های اینترنت اشیا در حوزه‌های تجاری و خانگی، بسیاری از کارشناسان را شگفت‌زده کرده است. این رشد، تولید داده‌های روزافزونی را نیز به دنبال داشته است. اینترنت اشیا و داده‌های بزرگ، دو فناوری هستند که با یکدیگر ارتباط نزدیکی دارند. این دو فناوری در بسیاری از زمینه‌ها، مانند تولید داده، جمع‌آوری داده و پردازش داده، مشترک هستند (Sedik et al., 2021). اینترنت اشیا شبکه‌ای گسترده از اشیا فیزیکی است که با حسگرها، اتصالات شبکه و نرم‌افزارهای تعبیه‌شده در خود، اطلاعات محیط پیرامون خود را جمع‌آوری کرده و با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. این اشیا می‌توانند هر چیزی باشند، از لوازم‌خانگی گرفته تا ساختمان‌ها و خودروها. اینترنت اشیا با اتصال اشیا فیزیکی به یکدیگر و به اینترنت، امکان جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات در زمان واقعی را فراهم می‌کند. این داده‌ها می‌توانند برای بهبود کارایی، دقت و بهره‌وری در زمینه‌های مختلف مانند خانه‌های هوشمند، سیستم‌های حمل‌ونقل و شهرهای هوشمند استفاده شوند (ترتیبیان و حق‌پرست، ۱۴۰۰).

شبکه‌های هوشمند، شهرهای هوشمند، سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند و سیستم‌های انرژی پایدار، ازجمله فناوری‌های پیشرفته‌ای هستند که می‌توانند به بهبود کیفیت زندگی و کاهش اثرات

زیست‌محیطی کمک کنند. سیستم‌های انرژی پایدار را می‌توان در مقیاس‌های مختلف، از کوچک تا بزرگ، پیاده‌سازی کرد. برای مثال، می‌توان از سیستم‌های انرژی خورشیدی یا بادی در خانه‌ها یا ساختمان‌های تجاری استفاده کرد. همچنین، می‌توان از اقدامات کوچکی مانند ارسال پیام‌های الکترونیکی بدون نیاز به استفاده از کاغذ، برای کاهش مصرف کاغذ و کمک به حفظ محیط‌زیست استفاده کرد. استفاده از روش‌های کارآمد برای تولید و مصرف انرژی، یکی از راه‌های مشارکت در انرژی پایدار است. جوامع در حال رشد، با چالش‌های اساسی در زمینه تولید و توزیع انرژی مواجه هستند. افزایش جمعیت، منجر به افزایش مصرف انرژی شده و مسائل زیست‌محیطی و بهداشتی مختلفی را به همراه داشته است؛ بنابراین، استفاده از روش‌های کارآمد برای تولید و مصرف انرژی، امری ضروری است (کاشفی نیشابوری و همکاران، ۱۴۰۱).

۲ـ۲. اینترنت اشیاء

فناوری اینترنت اشیا، زنجیره‌های تأمین را به‌صورت دیجیتالی متحول می‌کند. داده‌های در زمان واقعی در سراسر زنجیره تأمین به‌سرعت در دسترس قرار می‌گیرند و این امر به بهبود تصمیم‌گیری و بهره‌وری کمک می‌کند. فناوری اینترنت اشیا، زنجیره تأمین را به‌صورت دیجیتالی متحول می‌کند. با استفاده از این فناوری، جریان محصولات در هر سطح زنجیره تأمین ردیابی می‌شود و اطلاعات مربوط به قطعات و محصولات به‌صورت خودکار جمع‌آوری و در سیستم‌های اطلاعاتی بارگذاری می‌شود. این امر به مدیران امکان می‌دهد تا تصمیم‌گیری‌های دقیق‌تری در مورد تولید و تأمین انجام دهند. اینترنت اشیا همچنین باعث بهینه‌سازی زمان‌بندی فرآیند تولید، ادغام عمیق فرآیند فیزیکی تولید و سیستم اطلاعات، تسریع در تحول و به‌روزرسانی، کاهش هزینه‌های تولید، کاهش مصرف انرژی و ارتقای صنعت تولید برای جهانی‌شدن و معتبر شدن می‌شود (Huang، ۲۰۲۰) .استفاده از اینترنت اشیا در زنجیره تأمین، امکان دسترسی به اطلاعات حمل‌ونقل را برای تمام اعضای زنجیره فراهم می‌کند. این امر باعث می‌شود که نظارت بر کالاها و صرفه‌جویی در آن‌ها آسان‌تر شود، هزینه‌های بازگشت را کاهش دهد و رضایت مشتری را بهبود بخشد. (Yan, 2017). با پیشرفت فناوری و توسعه شبکه‌های کامپیوتری، اینترنت اشیا به‌سرعت در حال گسترش است. این شبکه از اشیا و تجهیزات متنوعی تشکیل شده است که به‌صورت مستقل و با اهداف متفاوت توسعه یافته‌اند. کاهش مصرف انرژی در اینترنت اشیا، به دلیل ویژگی‌های خاص این شبکه، یک چالش جدی است. روش‌های پیشنهادشده برای این منظور، معمولاً نتوانسته‌اند این ویژگی‌ها را به‌طور کامل در نظر بگیرند

۲ـ۳. خانه هوشمند و اندازه‌گیری هوشمند

شبکه‌های خانگی محیطی هستند که کاربران عمده فعالیت‌های خود را در آن انجام می‌دهند. تکنولوژی

CloudiOT، با اتصال دستگاه‌های ناهمگن تعبیه‌شده به ابر، امکان ایجاد برنامه‌های بزرگ و کارآمد در محیط خانه را فراهم می‌کند. درواقع، ادغام محاسبات در رایانش ابری و اشیاء فیزیکی، این تکنولوژی را قادر می‌سازد تا همه اشیاء را از طریق اینترنت به یک برنامه متصل کند و تمام خدمات آن‌ها را از طریق یک رابط مناسب در اختیار کاربران قرار دهد. در مدل خانه هوشمند، برنامه‌های مختلفی برای اتصال دستگاه‌های هوشمند به اینترنت و نظارت از راه دور بر رفتار آن‌ها ایجاد شده است. در این سناریو، رایانش ابری بهترین گزینه برای توسعه برنامه‌های کاربردی انعطاف‌پذیر است. این امر به دلیل امکان توسعه برنامه‌ها با نوشتن چند خط کد و همچنین ارائه زیرساخت و منابع لازم برای انجام کارهایی فراتر از شبکه محلی است. رایانش ابری همچنین می‌تواند تعامل مستقیم میان کاربران و سنسورها را برقرار کند (به‌عنوان‌مثال، برای پشتیبانی از سیستم‌های مبتنی بر رویداد) (Sun & Huang, 2012).

۲ـ٤. تأثیر IOT در کاهش انرژی

مصرف انرژی در ساختمان‌ها، در مرحله ساخت‌وساز آن‌ها بیشترین است. تصمیماتی که در مراحل اولیه ساخت‌وساز، مانند طراحی و انتخاب مصالح، گرفته می‌شود، تأثیر زیادی بر مصرف انرژی کل ساختمان در طول عمر آن دارد. در زمینه بهبود کارایی وسایل خانگی در خانه‌های هوشمند، تحقیقات زیادی انجام شده است و سیستم‌های هوشمندی برای مدیریت مصرف انرژی ارائه شده‌اند. این سیستم‌ها علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف انرژی، رفاه و امنیت ساکنان را نیز افزایش می‌دهند. هر چه سیستم‌های هوشمند اطلاعات بیشتری درباره دارایی‌های یک خانه هوشمند داشته باشند، بهتر می‌توانند به‌عنوان یک مراقب عمل کنند و محیطی ایمن، راحت و پایدار ایجاد نمایند (Al-Ali et al., 2011). برخی پژوهشگران معتقدند که کاربران در خانه‌های هوشمند نقش مهمی دارند و باید در تمام استراتژی‌های کنترلی لحاظ شوند. این سیستم با یکپارچه کردن کاربران و استفاده از یک تابع هزینه مناسب، ذخیره انرژی را اجرا می‌کند. معماری اتاق ذخیره انرژی که توسط هان در سال ۲۰۰۹ طراحی شد، به‌گونه‌ای است که از راه دور قابل‌کنترل است و برای کاهش مصرف انرژی در حالت عادی طراحی شده است تا بتوان یک اتاق را به‌راحتی کنترل کرد. پژوهش Sun و Huang (2012) نشان داد که یک سیستم یکپارچه‌شده از انرژی خورشیدی و سایر منابع انرژی قابل ذخیره‌سازی می‌تواند مصرف انرژی در یک خانه هوشمند را تا ۳۳ درصد کاهش دهد. یکی دیگر از ایده‌های کاهش مصرف انرژی با استفاده از اینترنت اشیا، به اشتراک‌گذاری اطلاعات مصرف انرژی با دیگر همسایگان است. این کار می‌تواند به مصرف‌کنندگان کمک کند تا رفتار مصرفی انرژی خود را بهتر درک کرده و درنتیجه، در مصرف انرژی صرفه‌جویی کنند.

۲ـ۵. پیشینه پژوهش

از الگوریتم‌ها و مدل‌های گوناگونی همانند مسیریابی حریصانه، روش‌های انتقال داده، مسیریابی حریصانه

و خوشه‌بندی، به‌منظور ارتقا طول عمر گره‌های بی‌سیم در اینترنت اشیا استفاده می‌کنند. در این بخش، بعضی از استراتژی‌های خوشه‌بندی در شبکه‌های بی‌سیم مورد تجزیه‌وتحلیل قرار خواهند گرفت و کارایی آن‌ها نیز در بوته آزمایش قرار خواهد گرفت. Al-Sodairi و Ouni (۲۰۱۸) به ارائه یک روش تقویت‌شده چندمرحله‌ای به نام LEACH ارائه دادند که در این روش، سرخوشه‌ها به‌واسطه انرژی باقی‌مانده گزینش می‌شوند. در این روش، ارتباطات موجود در بین خوشه‌ها نیز از سطح پایین‌تر به سطح بالاتر انجام می‌گیرد. در عین زمان، این روش مشکل شکست ارتباطی نیز دارد که از توزیع غیریکنواخت خوشه‌ها ناشی می‌گردد.. Panag و Dhillon (۲۰۱۸) در تحقیق خود به معرفی یک روش خوشه ثابت مبادرت ورزیدند که دربرگیرنده دو سرخوشه بود. این سرخوشه‌ها باشد داده‌ها را تجمیع می‌کردند و داده‌ها را منتقل می‌کردند. در عین زمان سرخوشه‌ها در داخل خوشه چرخانده می‌گردند تا اطمینان حاصل شود که مصرف انرژی ثابت وجود دارد. در مقاله Jesudurai و Senthilkumar (۲۰۱۹) می‌توان شاهد آن بود که روش انتخاب دو خوشه می‌تواند مصرف انرژی در بین دو سرخوشه را تقسیم نماید. این فرایند منجر به آن می‌شود که مصرف انرژی در شبکه تعدیل گردد و در سراسر انتقال نیز تعداد گره‌های مرده کاهش یابد. Xiuwu و همکاران (۲۰۱۹) همچنین یک مسیریابی بر اساس خوشه به‌واسطه بهینه‌سازی ازدحام کرم درخشان ارائه داده‌اند که در بستر آن، اتلاف انرژی در شبکه به‌صورت یکپارچه توزیع می‌شود.

محققان Behera و همکاران (۲۰۱۹) روشی را برای انتخاب سرخوشه با در نظر گرفتن سطح انرژی باقیمانده گره‌های کاندید ارائه دادند. چنین روشی می‌تواند با در نظر گرفتن سطح انرژی موجود همانند عامل مهمی در فرایند انتخاب سرخوشه، طول عمر شبکه و طول عمر گره‌ها را افزایش دهد. به‌منظور تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت، سامانه استنتاج فازی (FIS) مورداستفاده قرار گرفت. دلیل این امر این است که منطق فازی زمینه را برای استفاده از مقادیر گنگ مهیا می‌کند. Mazinani و همکاران (۲۰۱۹) یک FIS را در مقاله خود به‌منظور گزینش سرخوشه مبتنی بر درجه گره، فاصله و انرژی باقیمانده مورداستفاده قرار دادند. این روش قادر است که طول عمر شبکه را افزایش دهد ولی تضمینی در این زمینه ارائه نمی‌دهد که تعداد بهینه سرخوشه به‌منظور پوشش تمام منطقه حسگر انتخاب گردد.

همانطور که انتقال انرژی پیشرفت می‌کند، پاسخ انعطاف پذیر مدیریت سمت تقاضا نقش حیاتی فزاینده ای در تضمین کارایی اقتصادی، امنیت و قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت ایفا می‌کند (ما و همکاران، ۲۰۲۰؛ چنگ و گائو، ۲۰۲۱). به منظور دستیابی به هدف رسیدن به اوج کربن و بی طرفی کربن، انتظار می‌رود فناوری پاسخ تقاضا (DR) برای دستیابی به این هدف شتاب تزریق کند (لیانگ و همکاران، ۲۰۲۲). با این حال، DR سنتی، که عمدتاً شامل کاهش بار است، از نظر راحتی کاربر و اثربخشی در تنظیم محدودیت‌هایی دارد (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۲).

رشد سریع سیستم‌های انرژی یکپارچه (IES) منجر به ادغام بیشتر منابع انرژی مختلف در مراحل تولید، انتقال، تبدیل و مصرف شده است (هوانگ و همکاران، ۲۰۲۲؛ وانگ و همکاران، ۲۰۲۳). کاربران اکنون این فرصت را دارند که از طریق تغییر الگوهای مصرف انرژی، جایگزینی و تبدیل، و استفاده از منابع انرژی متعدد در برنامه‌های DR شرکت کنند (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۹؛ لی و وانگ، ۲۰۲۴). پاسخ تقاضای یکپارچه (IDR) این اشکال متنوع پاسخ را ساده می‌کند، تعاملات چند جهته را بین ذینفعان تقویت می‌کند و مصرف کنندگان را قادر می‌سازد تا به تولیدکنندگان و معامله گران انرژی تبدیل شوند (یانگ و لیو، ۲۰۲۳؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۹). در حال حاضر، اروپا (سودر و همکاران، ۲۰۱۸)، ایالات متحده (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۱)، و چین (لیانگ و همکاران، ۲۰۲۴) به طور فعال پروژه‌های نمایشی را برای پیشرفت فناوری‌های IDR و ادغام آنها در چارچوب‌های IES دنبال می‌کنند.

۳. روش تحقیق

در این بخش به مدل سازی روش پیشنهادی پرداخته شد، ابتدا الگوریتم PSO (بهینه‌سازی ذرات انبوه) معرفی می‌شود. سپس، الگوریتم‌های CPSO (PSO با ضرایب یادگیری پویا(و FCPSO (PSO با مشتق کسر) ارائه می‌شوند. درنهایت، با استفاده از تئوری مشتقات مرتبه کسری، الگوریتم FCPSO به‌طور کامل فرموله می‌شود.

۳ـ۱. الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

در این بخش، ابتدا به‌طور مفصل به ویژگی‌های مربوط به پیاده‌سازی مدل سیستم می‌پردازیم. برای پروتکل پیشنهادی، فرض می‌کنیم که با یک شبکه بزرگ و متراکم با یک پایگاه داده عمدتاً ثابت سروکار داریم. هنگامی‌که گره‌ها در داخل شبکه مستقر می‌شوند، همگی ازنظر خواص فیزیکی، ظرفیت انرژی و محدوده انتقال یکسان هستند. هر گره از موقعیت جغرافیایی و پایگاه اصلی خودآگاه است. این آگاهی از طریق الگوریتم PSO به دست می‌آید. الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) با مجموعه‌ای از راه‌حل‌های تصادفی آغاز می‌شود و با به‌روزرسانی نسل‌ها، به دنبال راه‌حل بهینه می‌گردد.

ذرات در فضای جستجوی چند بعدی حرکت می‌کنند. هر ذره در حین حرکت، موقعیت خود را با توجه به تجارب خود و ذرات همسایه‌اش به‌روز می‌کند. پس از دریافت اطلاعات مربوط به بهترین موقعیت خود و بهترین موقعیت همسایگانش، ذره موقعیت خود را بر اساس یک تابع ریاضی بروزرسانی می‌کند.

هر ذره در فضای جستجوی مسئله به دنبال بهترین راه‌حل است. بهترین راه‌حلی که تاکنون توسط ذره پیدا شده (pbest) به عنوان بهترین مکان ذره (gbest) در نظر گرفته می‌شود. در همین حال، همه

ذرات به سمت بهترین ذرات حرکت می‌کنند. در هر تکرار، بهینه‌سازی شامل تغییراتی در سرعت هر ذره به سمت gbest و pbest می‌شود.

معادله (۱) مدل ریاضی حرکت ذرات را نشان می‌دهد:

$$|\upsilon[t+1] = \omega\upsilon[t] + \rho_1 r_1\big(\chi_1[t] - x[t]\big) + \rho_2 r_2(\chi_2[t] - x[t])$$
$$|x[t+1] = x[t] + \upsilon[t+1]$$

معادله (۱)

در این معادله، پارامترهای w، $\rho 1$ و $\rho 2$ وزن‌های حقیقی و مثبتی هستند که اثر اینرسی را نشان می‌دهند. بهترین مؤلفه شناختی (بهترین مکان ذره) و بهترین مؤلفه اجتماعی (بهترین مکان ذرات) برای تعیین سرعت جدید $v[t+1]$ ذره در نظر گرفته می‌شوند. یک ضریب "و" یک بردار تصادفی با ابعاد R است که در آن هر جزء یک متغیر تصادفی با توزیع یکنواخت بین صفر و یک است. عدد طبیعی r نشان‌دهنده بعد فضای جستجوی مسئله است. متغیرهای $v[t]$ و $x[t]$ به ترتیب بردارهای سرعت و موقعیت ذره در تکرار t هستند$\chi 1[t]$. و $\chi 2[t]$ به ترتیب مؤلفه‌های بهترین موقعیت شناختی و بهترین موقعیت اجتماعی هستند.

۳ـ۲. الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات آشفته

الگوریتم ازدحام ذرات آشفته (CPSO) ترکیبی از الگوریتم استاندارد بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) و یک نگاشت آشفته است. این نگاشت آشفته در دو مرحله فرآیند بهینه‌سازی PSO به کار می‌رود:

فرآیند اولیه‌سازی: در این مرحله، از نگاشت آشفته برای ایجاد ذرات اولیه با توزیع بهتر در فضای جستجو استفاده می‌شود.

فرآیند تکامل: در این مرحله، از نگاشت آشفته برای به‌روزرسانی موقعیت ذرات در هر تکرار الگوریتم PSO استفاده می‌شود.

آشوب، پدیده‌ای در سیستم‌های غیرخطی است که شامل تعداد زیادی حرکت گرد ناپایدار است. به‌عبارت‌دیگر، آشوب یک رفتار تصادفی در یک سیستم غیرخطی معین است.

معادله (۲)، زیر نگاشت آشفته یک سیستم دینامیکی گسسته زمان را نشان می‌دهد:

$$x_k = f(x_{k-1}), k = 1,2,3, \dots .$$ معادله (۲)

از نگاشت آشفته می‌توان برای تولید دنباله‌ای از اعداد استفاده کرد. در این مقاله، برای الگوریتم پیشنهادی از نگاشت آشفته لجستیک، برای تولید ذرات یکنواخت، استفاده می‌شود. این کار به‌منظور بهبود کیفیت تولید جمعیت اولیه و اجتناب از نقاط بهینه محلی انجام می‌شود.

۳ـ۳. الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات آشفته کسری

پس از تولید جمعیت اولیه در الگوریتم، باید موقعیت و سرعت ذرات به‌روزرسانی شود. در این مقاله، برای مدل‌سازی حرکت ذرات از روش مشتقات مرتبه کسری استفاده‌شده است. به‌طورکلی، معادلات الگوریتم‌های بهینه‌سازی ازدحام ذرات به شکل پیوسته به‌صورت زیر است:

معادله (۳)

$$\left|\frac{d}{dt}\upsilon[t] = \omega\upsilon[t] + \sum_{i=1}^{2}\rho_i r_i(\chi_i[t] - x[t])\right.$$
$$\left|\frac{d}{dt}x[t+1] = \upsilon[t]\right.$$

با گسسته‌سازی مشتق مرتبه کسری Caputo برای سرعت (v) و موقعیت (x) ذرات، معادلات سرعت و مکان ذرات بر اساس مشتق مرتبه کسری (α) به‌صورت زیر به دست می‌آیند:

معادله (۴)

$$\upsilon(t+1) = (\alpha + h^a\omega)\upsilon(t) + h^a\rho_1 r_1\left(\chi_1(t) - x(t)\right) + h^a\rho_2 r_2\left(\chi_2(t) - x(t)\right)$$
$$x(t+1) = \alpha x(t) + \frac{1}{h^\alpha}\upsilon(t+1)$$

نکته مهم در انتخاب مقدار بهینه مرتبه مشتق کسری این است که این مقدار به نوع مسئله بهینه‌سازی بستگی دارد و برای هر مسئله باید مقدار خاصی انتخاب شود.

۳ـ۴. گره رابط برای ارسال انتخاب داده

تکنیک پیشنهادی با در نظر گرفتن دو معیار "تفاوت انرژی" و "فاصله"، گره میانی را از بین تمام گره‌های زنده شبکه که شرایط بهینه را دارند، انتخاب می‌کند. انتخاب گره‌ای که انرژی کل شبکه را تخلیه نکند، به‌عنوان گره میانی ایده‌آل است.

میزان انرژی مصرفی برای انتقال داده‌ها به گره رابط با محاسبه رابطه بین "کاهش انرژی گره‌های ارسال‌کننده" و "معادله (۵)" تعیین می‌شود:

معادله (۵)

$$\left|E_{ijBS} = E_{Tx}\left(l, d(si,sj)\right) + E_{Rx}(l) + E_{Rx}\left(l, d(s_j, BS\right)\right.$$
$$\left| = l\left(E_{elec} + E_{fs}d^2(si,sj)\right) + lE_{elec} + l(E_{elec} + E_{fs}d^2(sJ,BS)\right.$$
$$\left| = 3lE_{elec} + l\,E_{fs}d^2(si,sj) + d^2(sj,BS)\right.$$

EijBS در این رابطه نشان‌دهنده انرژی است که برای ارسال داده از گره i به ایستگاه پایه به‌واسطه گره رابط j مورداستفاده قرار می‌گیرد. فاصله گره i تا گره j با d(si,sj) نشان داده می‌شود و فاصله گره i

تا ایستگاه پایه با d(si,BS) مطرح می‌گردد. رابطه (۶) انرژی مرتبط با ارسال اطلاعات به ایستگاه پایه را به‌طور مستقیم حساب می‌کند.

معادله (۶)
$$E_{ijBS}| = E_{Tx}\big(l, d(si, BS)\big) + l\left(E_{elec} + E_{fs}d^2(si, sj)\right)$$
$$\Big| = lE_{elec} + lE_{fs}\big(d^2(si, BS)\big)$$

برای اینکه انتخاب گره رابط منجر به کاهش انرژی کل شبکه شود، تفاوت بین دو مقدار مصرف انرژی (محاسبه‌شده توسط معادله (۷)، باید بیش از صفر باشد.

معادله (۷)
$$\Big|lE_{elec} + lE_{fs}(d^2(si, sj) + d^2(sj, BS)) - lE_{elec} + E_{fs}\big(d^2(si, BS)\big)\Big) > 0$$
$$\Big|2lE_{elec} + lE_{fs}(d^2(si, sj) + d^2(sj, BS)) - d^2(si, BS)\Big) > 0$$
$$|(d^2(si, sj) + d^2(sj, BS) - d^2(si, BS)\ ) > -(2lE_{elec}/E_{fs})$$

پیچیدگی روش‌های دومرحله‌ای موجود برای ادغام الگوریتم‌های جستجو در محصولات تولیدی، چالشی بزرگ برای مهندسان محسوب می‌شود. اگرچه کدهای منبع برخی از این تکنیک‌ها در دسترس هستند، اما ممکن است به‌طور مستقیم در محصولات واقعی یک شرکت قابل پیاده‌سازی نباشند. جدول (۱)، مقایسه‌ای از پیچیدگی روش‌های مختلف بهینه‌سازی ارائه می‌دهد.

جدول (۱): مقایسه پیچیدگی روش بهینه‌سازی

	T_P	P	Cost
PSO	O(1)	O(N)	O(1)
CPSO	O(N/2)	O(N)	$O(N^2)$
FCPSO	$O(N^{1-x})$	$O(N^2)$	$O(N \log N)$

٤. یافته ها

در این مطالعه، از نرم‌افزار متلب برای شبیه‌سازی و ارزیابی امنیت اطلاعات اشیاء اینترنت (IoT) و الگوریتم‌های PSO، CPSO و FCPSO در ساختمان‌های هوشمند استفاده شده است. نتایج روش پیشنهادی، با روش‌های مشابه، مقایسه و پارامترهای مؤثر بر همگرایی الگوریتم‌ها بررسی شده‌اند. مقادیر این پارامترها نقش مهمی در بهبود همگرایی دارند. در این مطالعه، پارامترهای زیر هنگام انتقال داده‌ها به مرکز یا بین اشیاء در نظر گرفته شده‌اندEtx -: وErx : به ترتیب انرژی مصرفی برای ارسال و دریافت داده‌ها در هر گره.

Dij: فاصله بین گره i و j.

Eelec: انرژی اولیه موجود در هر گره.

Fij : نرخ انتقال داده بین دو گره i و j.

CS، CR، CB: به ترتیب هزینه راه‌اندازی گره ایستگاه پایه، گره حسگر و گره تقویت‌کننده.

تمام شبیه‌سازی‌ها در سیستم‌عامل ویندوز ۱۰ با استفاده از کامپیوترهای مجهز به پردازنده‌های چهار هسته‌ای ۲/۵ گیگاهرتز، فرکانس کاری ۲ و با ظرفیت حافظه ۸ گیگابایت انجام شده است. نرم‌افزار MATLAB 2020 برای انجام شبیه‌سازی‌ها به کار گرفته شده است.

به‌منظور بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی، از ۱۰ تابع تست بنچ میز استفاده شده است(جدول۲). در تمامی توابع، نقطه هدف و نقطه بهینه صفر در نظر گرفته شده و ابعاد همه توابع برابر با ۵۰ است.

جدول (۲): توابع و فاصله تست بنچ

ID	Function	Interval
F_1	$f(x)=\sum_{i=1}^{H} x_i^2$	$-\infty \le x_i \le \infty$ $1 \le i \le n$
F_2	$f(x)=\sum_{i=1}^{n}([x_i+0.5])^2$	
F_3	$f(x)=An\sum_{i=1}^{n}[x_i^2-Acos(2\pi x_i)]$	
F_4	$f(x)=An\sum_{i=1}^{n-1}[100(x_{i+1}-x_i^2)^2+(x_i-1)^2]$	
F_5	$f(x)=418.9829-\sum_{i=1}^{n} x_i\sin(\sqrt{\lvert x_i\rvert})$	
F_6	$f(x)=An\sum_{i=1}^{n}[x_i^2-10cos(2\pi x_i+10)]$	$-5.12 \le x_i \le 5.12$
F_7	$f(x)=-20\exp\left(-0.2\sqrt{\frac{1}{n\sum_1^n x_i^2}}\right)-\exp\left(\frac{1}{n\sum_1^n\cos(2\pi x_i)}\right)+20+e$	$-5 \le x,y \le 5$
F_8	$f(x)=\frac{1}{4000\sum_{i=1}^{n-1}x_i^2}-\prod_{i=1}^{n}\cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right)+1$	$-100 \le x_i \le 100$
F_9	$f(x)=0.1\{sin^2(3\pi x_i)+\sum_{i=1}^{n}(x_i-1)^2[1+sin^2(3\pi x_i+1)]+(x_n-1)^2[1+sin^2(2\pi x_n)]\}+\sum_{i=1}^{n}u(x_i,5,100,4)$	$-50 \le x_i \le 50$
F_{10}	$(x)=\pi/n\{10\sin(\pi y_1)+\sum_{i=1}^{n}(y_i-1)^2[1+10\,sin^2(\pi y_i+1)]+(y_n-1)^2\}+\sum_{i=1}^{n}u(x_i,10,100,4)$ $y_i=1+\left(x_i+\frac{1}{4}\right)u(x_i,a,k,m)=\begin{cases}k(x_i-a)^m, x_i>a\\0-a<x_i<a\\k(-x_i-a)^m, x_i<-a\end{cases}$	$-50 \le x_i \le 50$

جدول (۳)، نتایج شبیه‌سازی تولید جمعیت اولیه با کمک آشوب را برای توابع هدف مختلف نشان می‌دهد. درحالی‌که الگوریتم بهبودیافته با CPSO در برخی موارد (مشاهده در جدول ۱) عملکرد ضعیف‌تر از الگوریتم استاندارد دارد،FCPSO در مقایسه با PSO و CPS ، برای مقادیر مشتق مرتبه کسری بالاتر، عملکرد بهتری ارائه می‌دهد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که الگوریتم FCPSO پیشنهادی، در مقایسه با دو الگوریتم دیگر، برای هر یک از توابع، عملکرد بهتری ارائه می‌دهد که این‌یکی از مهم‌ترین دستاوردهای این الگوریتم است.

جدول (۳): نتیجه الگوریتم‌های PSO، CPSO و FCPSO در توابع آزمون تست برای مرتبه‌های مختلف مشتقات

methods	The Order of the Fractional Derivative (α)	The Value of the Objective Function									
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}
PSO		۰/۹۸۳۷۱	$۱۰^{-۵}\times۷$	۰/۹۸۳	$۱/۲\times۱۰^{-۱۳}$	$۴/۲\times۱۰^{-۱۶}$	۰/۹۸۳۷۱	$۱۰^{-۵}\times۷$	۰/۹۸۳	۲×۱۰^{-۱۴}	$۳/۹\times۱۰^{-۱۲}$
CPSO		۱/۰۰۸۷۶	۰/۰۰۰۸۸	۱/۰۰۹	$۱/۸\times۱۰^{-۱۲}$	$۳/۵\times۱۰^{-۱۴}$	۱/۰۰۸۷۶	۰/۰۰۰۸۸	۱/۰۰۹	$۶/۴\times۱۰^{-۱۲}$	$۱/۷۶\times۱۰^{-۱۲}$
FCPSO	۰/۲	۰/۰۰۰۱۸۰۲	۰/۰۰۰۵۱	۰/۰۰۰۰۱۰۲	$۱۰^{-۱۲}$	$۳/۷۵\times۱۰^{-۱۵}$	۰/۰۰۰۱۸۰۲	۰/۰۰۰۵۱	$۱/۲\times۱۰^{-۵}$	$۱/۵\times۱۰^{-۱۲}$	$۴/۱۰\times۱۰^{-۱۲}$
	۰/۴	۰/۰۰۰۱۸۹	۰/۰۰۰۴۹	۰/۰۰۰۰۳۱	$۱۰^{-۱۲}$	$۴/۰۲\times۱۰^{-۱۵}$	۰/۰۰۰۱۸۹	۰/۰۰۰۴۹	$۳/۱\times۱۰^{-۵}$	$۷/۹\times۱۰^{-۱۲}$	$۴/۹\times۱۰^{-۱۲}$
	۰/۶	۰/۰۰۰۳۳۹۸۹	۰/۰۰۰۶۳	$۱/۱۰۱\times۱۰^{-۷}$	$۱۰^{-۱۲}$	$۴/۲۱\times۱۰^{-۱۵}$	۰/۰۰۰۳۳۹۸۹	۰/۰۰۰۶۳	$۱/۱\times۱۰^{-۷}$	$۱/۹\times۱۰^{-۱۲}$	$۱/۹\times۱۰^{-۱۲}$
	۰/۸	۰/۰۱۱۳۶	۰/۰۰۰۲۶	۰/۰۱۰۹	$۱۰^{-۱۲}$	$۱۰^{-۱۵}\times۳$	۰/۰۱۱۳۶	۰/۰۰۰۲۶	۰/۰۱۰۹	$۳/۵\times۱۰^{-۱۲}$	$۳/۵\times۱۰^{-۱۲}$
methods	The Order of the Fractional Derivative (α)	Run Time									
		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}
PSO		۰/۱۰۰۹۸	۰/۰۹۷۴۸	۰/۱۰۱	۰/۰۹۷	۰/۰۷۸	۰/۱۰۰۹۸	۰/۰۹۷۴۸	۰/۱۰۱	۰/۰۹۷	۰/۰۷۸
CPSO		۰/۰۹۵۱۲	۰/۱۰۲۷۶	۰/۰۹۵	۰/۱۰۲	۰/۱۲	۰/۰۹۵۱۲	۰/۱۰۲۷۶	۰/۰۹۵	۰/۱۰۲	۰/۱۲
FCPSO	۰/۲	۰/۰۸۱۰۴	۰/۰۹۱۳۶	۰/۰۸۱	۰/۰۹۱	۰/۰۹۸	۰/۰۸۱۰۴	۰/۰۹۱۳۶	۰/۰۸۱	۰/۰۹۱	۰/۰۹۸
	۰/۴	۰/۱۲۳۹۹	۰/۰۸۷۷۸	۰/۱۲۳	۰/۰۸۸	۰/۰۷۲	۰/۱۲۳۹۹	۰/۰۸۷۷۸	۰/۱۲۳	۰/۰۸۸	۰/۰۷۲
	۰/۶	۰/۱۰۵۲۵	۰/۱۸۱۰۱	۰/۱۰۵	۰/۱۸۱	۰/۱۶۳	۰/۱۰۵۲۵	۰/۱۸۱۰۱	۰/۱۰۵	۰/۱۸۱	۰/۱۶۳
	۰/۸	۰/۰۹۲۷۴	۰/۰۹۸۴۲	۰/۰۹۲	۰/۰۹۸	۰/۰۷۹	۰/۰۹۲۷۴	۰/۰۹۸۴۲	۰/۰۹۲	۰/۰۹۸	۰/۰۷۹

جدول(۴)، مقایسه نتایج شبیه‌سازی‌ها با سه روش بهینه‌سازی مختلف (PSO، CPSO و FCPSO) را در زمینه مصرف انرژی در اینترنت اشیا ارائه می‌دهد. این مقایسه شامل زمان‌های محاسبه الگوریتم‌ها و همچنین میانگین خطاهای موقعیت‌یابی آن‌ها می‌شود.

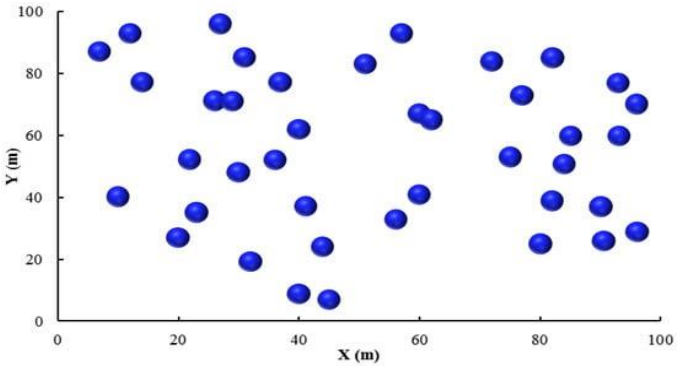
بررسی نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم بهینه‌سازی CPSO در مقایسه با دو الگوریتم دیگر، خطای بیشتری را به همراه دارد. عملکرد الگوریتم در دو حالت ارسال اطلاعات به مرکز و ارسال اطلاعات بین گره‌ها بررسی و مقایسه شده است. همچنین در هر دو حالت، مصرف انرژی مورد مقایسه قرار گرفت. شکل (۱)، نمایی از چیدمان اشیا درون فضای مختصات را مطرح می‌کند.

جدول (٤): نتایج شبیه‌سازی مصرف انرژی در اینترنت اشیا با استفاده از سه الگوریتم بهینه‌سازی

Optimization Algorithms	Mean Error $ER_A = \frac{\sum_{n=1}^{N}\sqrt{(Y_n - y_n)^2}^*}{N}$
PSO	۰/۰۸۲۹
CPSO	۰/۰۹۷۱
FCPSO	۰/۰۰۲۹

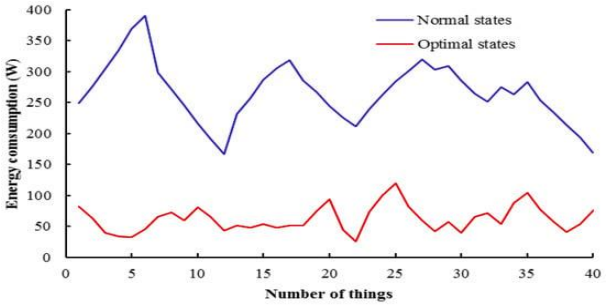
منبع: یافته های تحقیق

شکل (۱): قرار دادنشی در فضای مختصات



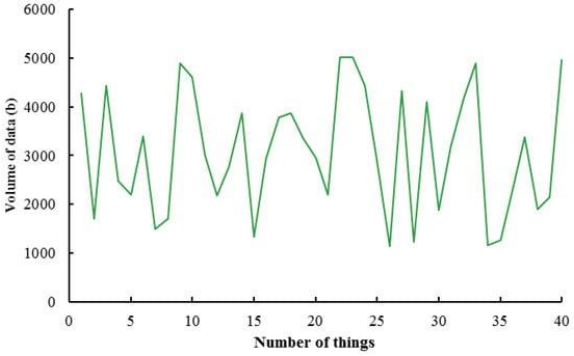
شکل (۲)، نشان می‌دهد که الگوریتم FCPSO چگونه می‌تواند مصرف انرژی را در انتقال اطلاعات بهینه کند. الگوریتم FCPSO با انتخاب مسیرهای بهینه برای انتقال اطلاعات، مصرف انرژی را به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهد.

شکل (۲): مصرف انرژی در اشیاء



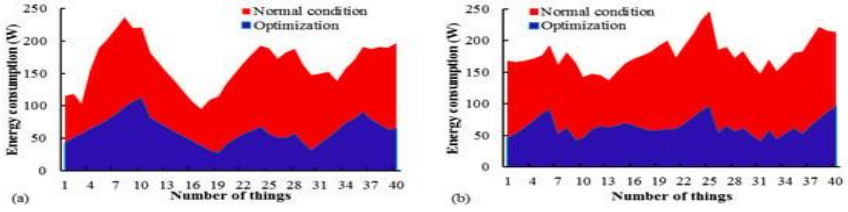
شکل (۳)، به بررسی حجم داده‌های تولیدشده توسط اشیاء می‌پردازد.

شکل (۳): مقدار داده ایجاد شده در هر شیء.



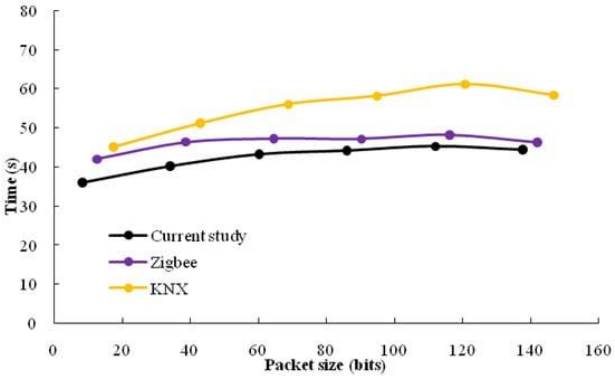
شکل (۳)، نشان می‌دهد که چگونه داده‌های هر شیء در ابتدای شبیه‌سازی به‌طور تصادفی تولید می‌شود. تقویت‌کننده به گره‌های حسگری با انرژی اضافی اشاره دارند و باعث افزایش انرژی گره‌های تقویت‌کننده در الگوریتم FCPSO می‌شوند. انتخاب گره‌های حسگر و تقویت‌کننده به‌صورت تصادفی انجام می‌شود. شبیه به بررسی قبلی، ۴۰ شیء در نظر گرفته شده است و مشخصات مرکز بدون تغییر باقی‌مانده است. شکل ۴ a نشان می‌دهد که الگوریتم FCPSO چگونه می‌تواند مصرف انرژی را به‌طور قابل‌توجهی کاهش دهد. با استفاده از الگوریتم FCPSO برای بهینه‌سازی انتقال اطلاعات، می‌توان مصرف انرژی را در سناریوهای مختلف به‌طور قابل‌توجهی کاهش داد روش دوم آزمایش مشابه روش اول است، با این تفاوت که پارامترهای Etx و Erx به عنوان یک پارامتر واحد در نظر گرفته می‌شوند. الگوریتم FCPSO در روش دوم آزمایش، به دلیل انعطاف‌پذیری بیشتر، عملکرد بهتری نسبت به روش انتقال استاندارد دارد. شکل b۴ نشان می‌دهد که الگوریتم FCPSO چگونه می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی کارایی انتقال اطلاعات را در مقایسه با روش انتقال استاندارد بهبود بخشد.

شکل (٤): مقایسه (الف) کاهش مصرف انرژی، و (ب) انرژی مورد نیاز برای انتقال داده و دریافت دو روش عادی و بهینه‌سازی FCPSO



در این مقاله، به بررسی زمان اجرا در سه روش مختلف برای احراز هویت در ساختمان‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء می‌پردازیم. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم FCPSO می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی زمان اجرا را در مقایسه با دو روش دیگر کاهش دهد. استفاده از الگوریتم FCPSO می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی کارایی و سرعت احراز هویت را در ساختمان‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء را بهبود بخشد. رویکرد دوم بر تحلیل و بررسی شبکه‌های ZigBee تمرکز داردZigBee . نوعی شبکه بی‌سیم است که وظایف خود را با انتقال سیگنال‌ها از یک قطعه سخت‌افزاری به قطعه دیگر انجام می‌دهد. این امر باعث قوی‌تر و گسترده‌تر شدن شبکه می‌شود. ازآنجایی‌که هر سیستم KNX هوشمند است و بر روی بیش از یک لایه فیزیکی کار می‌کند، در صورت خرابی یکی از سیستم‌ها، عملکرد سایر دستگاه‌های متصل به شبکه تحت تأثیر قرار نمی‌گیردKNX . یک سیستم کنترل ساختمان است که در شکل (۵)، مشاهده می‌کنید. اندازه بسته‌ها در این سیستم به‌طور قابل‌توجهی بزرگ‌تر شده است.

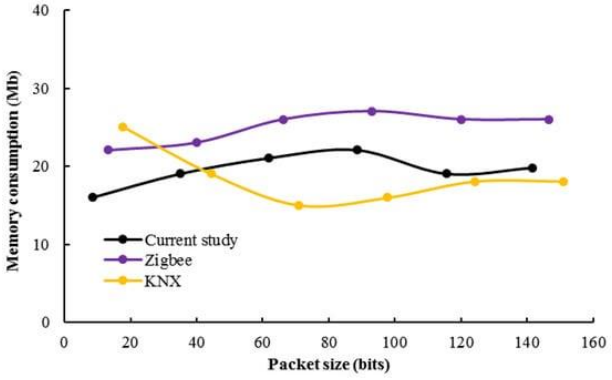
شکل (۵): زمان اجرا با روش‌های مختلف



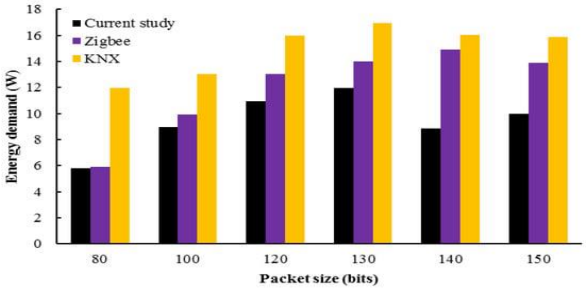
شکل(۵)، به بررسی حافظه مصرفی بر اساس مگابایت به‌منظور تکمیل درخواست‌های احراز هویت در ساختمان‌های هوشمند بر اساس اینترنت اشیا می‌پردازد. نتایج بیانگر آن هستند که روش سوم کمترین مصرف حافظه را برای تعداد بسته‌های بیشتر دارد، اما روش پیشنهادی در کاهش مصرف حافظه برای تعداد بسته‌های بالا موفق نیست.

در آزمایش دوم، میزان انرژی لازم برای انتقال داده‌ها از مبدأ به مقصد مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این آزمایش، تعداد بسته‌های داده در هر مرحله به‌طور متوالی افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های مشابه، از انرژی کمتری استفاده می‌کند.

شکل (٦): حافظه موردنیاز با روش‌های مختلف

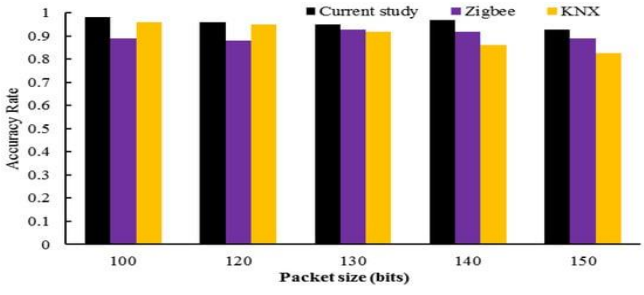


شکل (۷): تقاضای انرژی برای انتقال درخواست با روش‌های مختلف



معیار دقت نشان‌دهنده‌ی میزانِ نمایش دقیق هویت در ساختمان‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا توسط تکنیک پیشنهادی است. شکل (۸)، دقت این تکنیک را برای ۱۸۸ اثر هویت منحصربه‌فرد با دقت روش‌های دوم و سوم (که پیش‌تر شرح داده شد) دربسته‌های مختلف مقایسه می‌کند.

شکل (۸): مقایسه معیارهای دقت با روش‌های مختلف



نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های دوم و سوم، در شناسایی بسته‌های متمایز در ساختمان‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا از دقتِ بالاتری برخوردار است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

هدف این مطالعه، بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه‌های IoT بود. برای دستیابی به این هدف، از الگوریتم FCPSO (فرآیند بهینه‌سازی کلونی ذرات فازی) استفاده شد. الگوریتم FCPSO به دلیل توانایی در بهینه‌سازی مسائل با در نظر گرفتن تعداد زیادی از پارامترها، برای کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های IoT مناسب است. این الگوریتم از رفتار اجتماعی ذرات در طبیعت الهام گرفته شده و قادر به جستجوی فضای جستجو و یافتن بهترین راه‌حل برای مسائل بهینه‌سازی است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که الگوریتم FCPSO می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی مصرف انرژی در شبکه‌های IoT را کاهش دهد. این امر، به افزایش طول عمر باتری گره‌ها و ارتقای کارایی شبکه‌های IoT منجر خواهد شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که استفاده از روش FCPSO به‌طور قابل توجهی مصرف انرژی را در طول اجرای برنامه و چرخه انتقال اطلاعات کاهش می‌دهد. محدودیت اصلی این مطالعه کمبود داده‌های کافی برای ساخت مدل بهینه است. این کمبود داده، احتمال همگرا نشدن مدل را افزایش می‌دهد. موضوع دیگری که باید به آن توجه کرد، درجه سختی محاسباتی مدل‌های جدید انتقال داده‌ها است. این مدل‌ها به محاسبات پیچیده‌تری نسبت به مدل‌های سنتی نیاز دارند.

بر اساس مطالعه کنونی و نتایج به‌دست آمده از پیاده‌سازی، برای پژوهش‌های آینده، توصیه‌های زیر ارائه می‌شوند:

- اجرای عملی روش پیشنهادی در یک محیط هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا، مانند ساختمان‌های هوشمند.
- بررسی کاربرد روش پیشنهادی در مسیریابی چندپخشی، به همراه تمرکز بر نحوه انتخاب مسیرها.
- استفاده از الگوریتم‌های تکاملی جایگزین و ارزیابی نتایج آن‌ها به‌منظور افزایش کاهش سربار جاری و دستیابی به نتایج مطلوب‌تر.

٦. تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

References

- Al-Ali, A. R., El-Hag, A., Bahadiri, M., Harbaji, M., & El Haj, Y. A. (2011). Smart home renewable energy management system. *Energy Procedia*, *12*, 120-126.
- Ali, A. R., Zualkernan, I. A., Rashid, M., Gupta, R., & AliKarar, M. (2017). A smart home energy management system using IoT and big data analytics approach. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, *63*(4), 426-434.
- Behera, T. M., Mohapatra, S. K., Samal, U. C., Khan, M. S., Daneshmand, M., & Gandomi, A. H. (2019). Residual energy-based cluster-head selection in WSNs for IoT application. *IEEE Internet of Things Journal*, *6*(3), 5132-5139.
- Braham, M., Miller, T., Duerr, A. E., Lanzone, M., Fesnock, A., LaPre, L., ... & Katzner, T. (2015). Home in the heat: dramatic seasonal variation in home range of desert golden eagles informs management for renewable energy development. *Biological Conservation*, *186*, 225-232.
- Chakchouk, N. (2015). A survey on opportunistic routing in wireless communication networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, *17*(4), 2214-2241.
- Cheng L, Qi N, Zhang F, et al. (2017). Energy internet: concept and practice exploration. In: Proceedings of the 2017 IEEE conference on energy internet and energy system integration (EI2); (2017). p. 1–5. https://doi.org/10.1109/EI2.2017.8245533. Beijing, China.
- Ever, E., Shah, P., Mostarda, L., Omondi, F., & Gemikonakli, O. (2019). On the performance, availability and energy consumption modelling of clustered IoT systems. *Computing*, *101*, 1935-1970.
- Fanian, F., & Rafsanjani, M. K. (2019). Cluster-based routing protocols in wireless sensor networks: A survey based on methodology. *Journal of Network and Computer Applications*, *142*, 111-142.
- Huang AQ, Crow ML, Heydt GT, et al. (2011). The future renewable electric energy delivery and management (FREEDM) system: the energy internet. Proc IEEE 2011; 99: 133–48. https://doi.org/10.1109/JPROC.2010.2081330.
- Huang W, Zhang N, Kang C, et al.(2019). From integrated energy system to integrated demand response: review and prospect of research and application. Prot Control Mod Power Syst(2019; 4: 12. https://doi.org/10.1186/s41601-019-0126-4.
- -Huang Y, Wang Y, Liu N. A.(2022). two-stage energy management for heat-electricity integrated energy system considering dynamic pricing of Stackelberg game and operation strategy optimization. Energy 2022; 244 (Part A): 122576. https://doi. org/10.1016/j.energy.2021.122576.
- . (2020). Quality of service optimization in wireless transmission of industrial Internet of Things for intelligent manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *107*, 1007-1016.

- Jesudurai, S. A., & Senthilkumar, A. (2019). An improved energy efficient cluster head selection protocol using the double cluster heads and data fusion methods for IoT applications. *Cognitive systems research*, *57*, 101-106.
- Kashfi Nishaburi, M., Malekiniya, M., Ghasemzadeh, M., Abbasgholi, A. (2022). Optimization of Energy Consumption in Smart Cities Based on the Internet of Things. *2nd International Conference on Electrical, Computer and Mechanical Engineering*, Tehran. [In Persian]
- Kumar, A., Sharma, S., Goyal, N., Singh, A., Cheng, X., & Singh, P. (2021). Secure and energy-efficient smart building architecture with emerging technology IoT. *Computer Communications*, *176*, 207-217.
- -Li X, Wang H.(2024). Integrated energy system model with multi-time scale optimal dispatch method based on a demand response mechanism. J Clean Prod 2024; 445: 141321. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141321.
- Liang X, Goh HH, Kurniawan TA, et al. (2022). Utilizing landfill gas (LFG) for promoting digitalization of data center in China to facilitate sustainable energy transition in era of Industrial Revolution 4.0. J lean Prod 2022; 369: 133297. https://doi.org/
- Liang H, Zhang H, Zhang X, et al. (2024). Role of demand response in the decarbonisation of China's power system. Environ Impact Assess Rev 2024; 104: 107313. https:// doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107313.
- Ma Y, Wang L, Zhang T.(2022). Research on the dynamic linkage among the carbon emission trading, energy and capital markets. J Clean Prod 2020; 272: 122717. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122717.
- Mazinani, A., Mazinani, S. M., & Mirzaie, M. (2019). FMCR-CT: An energy-efficient fuzzy multi cluster-based routing with a constant threshold in wireless sensor network. *Alexandria Engineering Journal*, *58*(1), 127-141.
- Miles, B., Bourennane, E. B., Boucherkha, S., & Chikhi, S. (2020). A study of LoRaWAN protocol performance for IoT applications in smart agriculture. *Computer Communications*, *164*, 148-157.
- Padidegaran Moghaddam, F., & Asadi, H. (2017). Review of Methods and Equipment for Smart Building. *4th International Conference on New Findings in Science and Technology*, Qom, Soroush Hekmat Mortazavi Islamic Studies and Research Center. [In Persian]
- Panag, T. S., & Dhillon, J. S. (2018). Dual head static clustering algorithm for wireless sensor networks. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, *88*, 148-156.
- Plaum F, Ahmadiahangar R, Rosin A, et al. (2022) Aggregated demand-side energy flexibility: a comprehensive review on characterization, forecasting and market prospects. Energy Rep 2022; 8:9344–62. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.07.038.
- Salehi, S., Farbeh, H. (2021). Optimization of Energy Consumption in the Internet of Things Based on Software-Defined Networking. *Journal of Soft Computing and Information Technology*, *10*(2), 27-38. [In Persian]

- -Sangwan, A., & Singh, R. P. (2015). Survey on coverage problems in wireless sensor networks. *Wireless Personal Communications*, *80*, 1475-1500.
- Sedik, A., Hammad, M., Abd El-Samie, F. E., Gupta, B. B., & Abd El-Latif, A. A. (2021). Efficient deep learning approach for augmented detection of Coronavirus disease. *Neural Computing and Applications*, 1-18.
- So¨der L, Lund PD, Koduvere H, et al. (2018). A review of demand side flexibility potential in Northern Europe. Renew Sustain Energy Rev 2018; 91: 654–64. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.104.
- Stergiou, C. L., Psannis, K. E., & Gupta, B. B. (2020). IoT-based big data secure management in the fog over a 6G wireless network. *IEEE Internet of Things Journal*, *8*(7), 5164-5171.
- Sun, H. C., & Huang, Y. C. (2012). Optimization of power scheduling for energy management in smart homes. *Procedia engineering*, *38*, 1822-1827.
- Tartibion, Z., Haghparast, M. (2021). Optimization of Energy Consumption in Internet of Things Using Fuzzy System in Smart Buildings. *Journal of Elite in Science and Engineering*, *6*(6), 80-94.[In Persian]
- Wang Y, Zheng Y, Yang Q. (2020). Optimal energy management of integrated energy systems for strategic participation in competitive electricity markets. Energy
- Xiuwu, Y., Qin, L., Yong, L., Mufang, H., Ke, Z., & Renrong, X. (2019). Uneven clustering routing algorithm based on glowworm swarm optimization. *Ad Hoc Networks*, *93*, 101923.
- Xu, L., Collier, R., & O'Hare, G. M. (2017). A survey of clustering techniques in WSNs and consideration of the challenges of applying such to 5G IoT scenarios. *IEEE Internet of Things Journal*, *4*(5), 1229-1249.
- Yan, R. (2017). Optimization approach for increasing revenue of perishable product supply chain with the Internet of Things. *Industrial Management & Data Systems*, *117*(4), 729-741.
- Yang MLiu Y. (2023). Research on multi-energy collaborative operation optimization of integrated energy system considering carbon trading and demand response. Energy 2023; 283: 129117. https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129117.
- Zhang L, Tang Y, Zhou T, et al. (2022). Research on flexible smart home appliance load participating in demand side response based on power direct control technology. Energy Rep 2022; 8: 424–34. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.01.219.