

An Energy Consumption Management Framework in IoT and Smart Cities

Maryam Malek,¹ Soheila Karbasi^{2*}

¹ Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Golestan University, Gorgan, Iran,
mmalek1400@yahoo.com

² Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Golestan University, Gorgan, Iran,
s.karbasi@gu.ac.ir

Keywords:

smart city, internet of things,
energy consumption
management, intelligent
selection of agent nodes

Abstract: In recent years, research in the field of smart cities and their related parameters has become very popular. One of the fundamental challenges in managing smart cities within the Internet of Things (IoT) context is the amount of energy consumption, which is supplied through electrical energy. This research presents a new framework for energy consumption management in smart cities while introducing the advantages and challenges of IoT in smart cities. For this purpose, the distance metric between communication nodes in a smart city is considered as a fundamental parameter for energy consumption management. Also, another parameter, referred to as the 'remaining battery charge of each transmitting node' is engaged. This allows for an appropriate decision to be made regarding the selection of a node for transmission, taking into account the distance and the remaining battery charge of a node. Therefore, the distance and the battery charge of the nodes are examined by a fuzzy logic system; by assigning a number between zero and one hundred to each node, the best candidate node is identified from among the nodes. In this way, each node with a higher assigned number is considered a more suitable candidate for data transmission. Throughout the network, some nodes are selected as agents that undertake the task of transmitting their own data and that of their neighboring nodes. The selection of these agent nodes is a fundamental challenge that has infinitely many solutions. For this purpose, the Grey Wolf Optimizer algorithm has been used to find optimal values for the agent nodes. The issue of selecting multiple agents in a smart city for the best agent transmission is a multi-agent problem. By defining various objectives such as bandwidth, throughput, and time, it transforms into a multi-objective problem. Finally, by comparing the simulation results of proposed method with two other methods, the findings showed that the proposed method offered better performance for the various defined scenarios. Thus, by considering distance and utilizing a multi-agent, multi-objective system, the remaining battery charge can provide acceptable results in the field of energy consumption in smart cities, especially in countries with energy challenges.

Original Research Article

Paper History:

Received: 15/10/2025

Revise: 13/12/2025

Accepted: 23/02/2026

How to cite this article: Malek, M., Karbasi, S. "An Energy Consumption Management Framework in IoT and Smart Cities", Energy Engineering and Management, Vol. 15, No. 2, PP. 56-69, 2025. <https://doi.org/10.22052/EEM.2026.257681.1149>
© 2023 University of Kashan Press.

This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Extended Abstract

Introduction

The Internet of Things (IoT) devices sense and transmit streaming data from their surroundings. This exchange of a large amount of information amongst billions of devices demands a massive energy need. In this study, the advantages and challenges of the IoT in a smart city were examined and a proposed framework for managing energy consumption in a smart city was presented. To address these issues, we propose a new solution based on using more appropriate parameters and artificial intelligence algorithms to select best candidate nodes and to make smart decisions about data transmitting.

Methodology

In this research, an energy consumption management framework was proposed based on two parameters battery charge level and distance of the nodes. This allowed for an appropriate decision making in regard to the selection of a node for transmission, taking into account the distance and the remaining battery charge of a node. Therefore, the distance and the battery charge of the nodes were examined by a fuzzy logic system and by assigning a number between zero and one hundred to each node; the best candidate nodes were identified. In this way, each node with a higher assigned number was considered a more suitable candidate for data transmission. Throughout the entire network, nodes were selected as agents undertaking the task of transmitting their own information and that of their neighboring nodes. The selection of these agent nodes from among all the nodes was a fundamental challenge that had infinitely many solutions. For this purpose, the Grey Wolf Optimizer algorithm was used to find the optimal values for the agents.

Results

The issue of selecting multiple agents in a smart city for the best agent transmission is a multi-agent problem. By defining various objectives such as bandwidth, throughput, and time, it transforms into a multi-objective

problem. By defining the initial values of the IoT environment parameters, several scenarios, based on changing IoT servers and tasks, were considered and simulated. Finally, the simulation results of time delay, bandwidth, and throughput in all scenarios for the proposed method--against the Imperialist Competitive algorithm and Genetic algorithms--showed that in all six scenarios the time delay for the proposed method had better values than the two comparative algorithms. Also, the throughput and bandwidth for the proposed method had better values than the other two algorithms. The results of the research showed that for the time delay in scenario 1, the proposed algorithm has improved by 6.20% compared to the Imperialist Competitive algorithm and 12.6% compared to Genetic algorithm. Also, the bandwidth consumption of the proposed algorithm in scenario 1 improved by 17.65% compared to the Imperialist Competitive algorithm and 29.76% compared to Genetic algorithm. The throughput of the proposed algorithm in scenario 1 improved by 1.76% compared to Imperialist Competitive algorithm and 16.86% compared to Genetic algorithm.

Discussion and Conclusions

This paper indicates that strategic focus on key smart city dimensions can lead to a preferable management in energy consumption domain. The optimal use of modern technologies, while attending to environmental indicators, are among the most critical pathways for progress in this field. This research demonstrates an analytical and practical framework for energy consumption management. By comparing the proposed method with different parameters, it was explained that the proposed method's results offered better performance for the various defined scenarios. Thus, by considering distance and using a multi-agent, multi-objective system, the remaining battery charge can provide acceptable results in the field of energy consumption optimization especially in countries with energy challenges.

ارائه یک چارچوب مدیریت مصرف انرژی در بستر اینترنت اشیا و شهرهای هوشمند

مریم ملک^۱، سهیلا کرباسی^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران،

mmalek1400@yahoo.com

^۲ استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران، s.karbasi@gu.ac.ir

واژه‌های کلیدی:

شهر هوشمند، اینترنت اشیا، مدیریت مصرف انرژی،
انتخاب هوشمند گره‌های عامل.

مقاله علمی پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۴

چکیده: در سال‌های اخیر پژوهش در حوزه شهرهای هوشمند و مؤلفه‌های مربوط به آن بسیار رواج یافته است. یکی از چالش‌های اساسی در مدیریت شهرهای هوشمند در بستر اینترنت اشیا، میزان انرژی مصرفی است که از طریق انرژی الکتریکی تأمین می‌گردد. در این تحقیق ضمن معرفی مزایا و چالش‌های اینترنت اشیا در شهرهای هوشمند، یک چارچوب پیشنهادی برای مدیریت مصرف انرژی در شهرهای هوشمند ارائه شده است. برای این منظور معیار فاصله بین انواع دستگاه‌های (گره) شبکه در شهر هوشمند به عنوان یک پارامتر اساسی برای مدیریت انرژی در نظر گرفته شده است. همچنین به منظور مدیریت هوشمند مصرف انرژی از پارامتر میزان انرژی باتری گره ارسال کننده کمک گرفته می‌شود تا با توجه به مقدار فاصله و مقدار شارژ باتری، تصمیم مناسب برای انتخاب گره برای ارسال اتخاذ شود. میزان فاصله و مقدار شارژ باتری گره‌ها توسط یک منطق فازی مورد بررسی قرار می‌گیرد و با اختصاص عددی بین صفر تا صد به هر گره، بهترین گره به عنوان کاندید از میان گره‌ها مشخص می‌شود. در کل شبکه، گره‌هایی به عنوان عامل انتخاب می‌شوند که وظیفه ارسال اطلاعات خود و گره‌های همسایه را بر عهده می‌گیرند. انتخاب این گره‌های عامل از بین کل گره‌ها یک چالش اساسی است که پیچیدگی محاسباتی بالایی دارد. برای این منظور از الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری برای یافتن بهینه عامل‌ها استفاده شده است. مسئله انتخاب چند عامل در شهر هوشمند برای ارسال داده‌ها، یک مسئله چندعامله است که با تعریف اهداف مختلفی از جمله پهنای باند، توان عملیاتی و زمان ارسال، به یک مسئله چندهدفه تبدیل می‌شود. در انتها با مقایسه‌های متعدد نشان داده می‌شود که نتایج روش پیشنهادی برای سناریوهای مختلف تعریف شده عملکرد بهتری را به همراه دارند. به این ترتیب میزان انرژی باقی مانده باتری با در نظر گرفتن فاصله و استفاده از یک سیستم چندعامله و چندهدفه می‌تواند نتایج قابل قبولی را در حوزه مصرف انرژی در شهرهای هوشمند به خصوص برای مقابله با چالش کمبود تولید انرژی ارائه دهد.

۱. مقدمه

امروزه مفهوم شهر هوشمند به عنوان ابزاری برای ارتقای کیفیت زندگی شهروندان، اهمیت زیادی در دستور کار سیاست‌گذاران پیدا کرده است.

محبوبیت شهرهای هوشمند طی چند دهه گذشته افزایش یافته که این امر به دلیل افزایش تعداد افرادی است که در شهرها زندگی می‌کنند و تأثیر آن بر محیط‌زیست، زیرساخت‌های شهری و منابع است [۱]. پیش‌بینی می‌شود که حدود ۷۰٪ از جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ در مناطق شهری زندگی خواهند کرد [۲]. در ایران بیش از ۶۳/۵ میلیون نفر یعنی حدود ۷۵٪ از جمعیت ایران در شهرها زندگی می‌کنند که این موجب بحران شدید زیست‌محیطی و جمعیتی شده است [۳]. هدف اصلی از پیاده‌سازی و یکپارچه‌سازی راه‌حل‌های جدید مدیریت اینترنت اشیا، پیشرفت بیشتر و سریع‌تر شهرهای هوشمند، ارائه قابلیت‌ها و ویژگی‌های جدید و درعین حال کاهش قابل توجه مداخلات انسانی است [۴]. با این حال، پروژه‌های اینترنت اشیا با چالش‌های زیادی روبه‌رو هستند و سیاست‌گذاران و مدیران پروژه به دنبال راه‌هایی برای مقابله با این چالش‌ها هستند. به دلیل اینکه سنسورها، مراکز داده، ساختمان‌های هوشمند و سایر اجزای شهر هوشمند، مصرف برق را به‌طور قابل توجهی به‌ویژه در ساعات اوج مصرف بالا می‌برند، مدیریت هوشمند مصرف انرژی به عنوان مناسب‌ترین راهکار کمبود انرژی در شهرهای هوشمند اهمیت ویژه‌ای یافته است [۴]. هدف از پژوهش حاضر شناسایی چالش‌های اصلی کاربرد اینترنت اشیا در شهرهای هوشمند و همچنین ارائه یک چارچوب پیشنهادی در جهت بهبود مدیریت بهینه مصرف انرژی است.

۲. تعاریف و مفاهیم

مفهوم شهر هوشمند برای اولین بار در سال ۱۹۹۰ معرفی شد و شامل مجموعه‌ای از خدمات هوشمند در دامنه‌های مختلف نظیر مدیریت انرژی، حمل و نقل، امنیت، آموزش و خدمات رفاهی است که هدف آن بهبود کیفیت زندگی شهروندان و بهره‌وری بهتر از منابع است. شهر هوشمند از فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات برای افزایش کیفیت زندگی شهروندان و ایجاد تعامل قابل دسترسی استفاده می‌کند [۵].

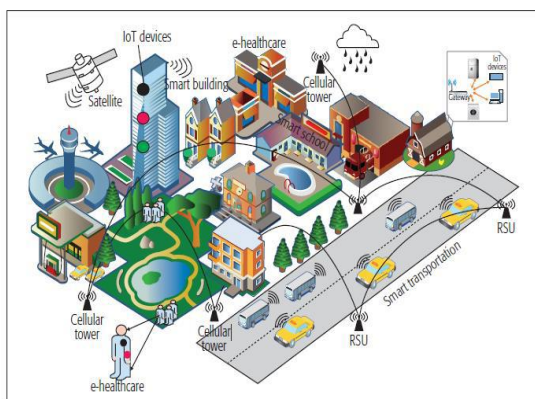
۱-۲. اینترنت اشیا

اصطلاح اینترنت اشیا را اولین بار کوین اشتون^۱ در سال ۱۹۹۹ ابداع

کرد. اتحادیه بین‌المللی مخابرات^۲ به‌طور رسمی اینترنت اشیا را این‌گونه تعریف کرده است: «یک زیرساخت جهانی برای جامعه اطلاعاتی، که خدمات پیشرفته را با به هم پیوستن اشیای فیزیکی و مجازی براساس فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطاتی موجود و درحال توسعه امکان‌پذیر می‌کند.» این تعریف را می‌توان به‌عنوان اساس فناوری‌های اینترنت اشیا در نظر گرفت [۶]. هدف اینترنت اشیا ایجاد یک فضای کارآمد و جامع است که به جمع‌آوری اطلاعات مختلف در محیط از طریق دستگاه‌های سنجش اطلاعات و ارتباط بین اشیا و افراد از طریق انواع دسترسی‌های مختلف به شبکه اشاره دارد. در واقع، اینترنت اشیا پس از کامپیوتر و اینترنت، سومین نسل صنعت اطلاعات جهان است و کشورهای مختلف توسعه‌یافته انواع مختلفی از راهبردهای توسعه مرتبط با اینترنت اشیا را پیشنهاد داده‌اند [۷].

۲-۲. شهر هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا

فناوری اینترنت اشیا به‌عنوان موجودیت اصلی و حیاتی شهر هوشمند محسوب می‌شود که بستر دیجیتالی شدن فراگیر را فراهم نموده و مفهوم شهرهای هوشمند را به وجود می‌آورد. اینترنت اشیا به اتصال انواع دستگاه‌های اطلاعاتی به شبکه اینترنت اشاره می‌کند که به آن‌ها مجوز دریافت و ارسال اطلاعات و انتخاب مسیرهای ارتباطی مجاز را برای انجام اقدامات اعطا می‌کند. برآورد شده است تا سال ۲۰۲۵ بیش از ۷۵ میلیارد انواع دستگاه به اینترنت متصل هستند که باعث رشد و توسعه فوق‌العاده‌ای در این حوزه می‌شوند [۸]. شکل (۱) تصویری سطح بالا از یک شهر هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا را نشان می‌دهد [۹].



شکل (۱): تصویری از معماری شهر هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا [۹]

یک شهر هوشمند از شش مؤلفه اصلی شامل حاکمیت هوشمند، اقتصاد هوشمند، مردم هوشمند، جابه‌جایی هوشمند، محیط هوشمند و زندگی هوشمند تشکیل شده است [۱۰]. این مؤلفه‌ها از یکدیگر مجزا

به چالش‌های ناشی از پیاده‌سازی شهرهای هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا پرداخته می‌شود.

۲-۴-۱. قابلیت همکاری

یکی از چالش‌های اصلی که در طول پیاده‌سازی اینترنت اشیا در یک شهر هوشمند وجود دارد، قابلیت همکاری است. چالش تعامل‌پذیری این است که همه دستگاه‌های اینترنت اشیا در چارچوب‌های نرم‌افزاری یکپارچه سرویس‌دهی کنند [۱۲ و ۱۳].

۲-۴-۲. بهره‌وری انرژی

دستگاه‌های هوشمند به کمک الگوریتم‌های محاسباتی پیشرفته به پایانه‌های هوشمندی تبدیل می‌شوند که داده‌ها را به سرورهای ابری یا دستگاه‌های دیگر انتقال می‌دهند. بنابراین، برای پایداری شهر هوشمند نیاز به مقدار زیادی انرژی است. تأمین انرژی برای نیازهای یک شهر بسیار چالش‌برانگیز است و ازسویی تقاضای انرژی و هزینه‌ها نیز در طول زمان به سرعت افزایش می‌یابند [۱۲ و ۱۳].

۲-۴-۳. حملات امنیتی و حریم خصوصی

امنیت همراه با حفظ حریم خصوصی، دغدغه اصلی در شهرهای هوشمند است. شهرهای هوشمند مستلزم داشتن زیرساخت‌های ضروری شهری به صورت برخط هستند. هرگونه اشکال در عملکرد خدمات شهری باعث نارضایتی شهروندان می‌شود و مسائل مختلفی را به خطر می‌اندازد. بنابراین موضوع امنیت، یک دغدغه بزرگ در شهرهای هوشمند به شمار می‌رود [۸، ۱۲ و ۱۳].

۲-۴-۴. تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ

براساس مشاهدات آماری انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۵ حجم داده‌های تولیدشده توسط حدود ۱۷/۲ میلیارد دستگاه متصل به اینترنت اشیا به ۷۹/۴ زتابایت افزایش یافته باشد. برای استفاده از این داده‌ها و بهبود مستمر خدماتی که در شهرهای هوشمند ارائه می‌شوند، باید تکنیک‌ها و الگوریتم‌های جدید و کارآمدتری برای تجزیه و تحلیل داده‌ها ایجاد شوند [۸، ۱۲ و ۱۳].

۲-۴-۵. مقیاس‌پذیری

اینترنت اشیا به توانایی حسگرها و سایر دستگاه‌ها برای ارسال و دریافت اطلاعات به یکدیگر و محیط محاسبات ابری بستگی دارد. با افزایش خدمات جدید شهرهای هوشمند، ارائه شبکه به این دستگاه‌ها برای متصل ماندن و ایجاد هماهنگی یکی از چالش‌های بزرگ این حوزه محسوب می‌شود [۸ و ۱۳].

۳. پژوهش‌های مرتبط

شهرهای هوشمند برای مدیریت پیچیدگی‌های زندگی شهری به

نیستند به طوری که می‌توانند بر همدیگر تأثیرگذار باشند و تقریباً همه محورهای مهم زندگی شهری مانند جنبه‌های انسانی، اجتماعی، رفاهی، سیاسی، فرهنگی و... را در بر می‌گیرند.

۲-۳. کاربردهای اینترنت اشیا در شهر هوشمند

در این بخش برخی از انواع خدمات که می‌توانند به کمک اینترنت اشیا در بستر یک شهر هوشمند ارائه شوند، به اختصار بیان شده‌اند.

۲-۳-۱. مدیریت زباله

مدیریت زباله جزء امور اساسی در بسیاری از شهرهای پیشرفته است که دلیل اصلی آن هزینه بالای این خدمت و همچنین الزام انتقال زباله‌ها در مکان‌های مخصوص دفن زباله است.

۲-۳-۲. ازدحام ترافیک

نظارت بر ازدحام ترافیکی خدمت دیگری است که توسط اینترنت اشیا شهری بهینه‌سازی می‌شود. حسگرهای یکپارچه‌ای که در خیابان‌ها نصب می‌شوند، تغییرات لحظه‌ای جریان ترافیک را به یک سرویس دهنده مرکزی مدیریت ترافیک ارسال می‌کنند. این مرکز، داده‌ها را تجزیه و تحلیل می‌کند و به طور خودکار در عرض چند ثانیه چراغ‌های راهنمایی خیابان‌ها را با وضعیت ترافیک منطبق می‌کند.

۲-۳-۳. پارکینگ هوشمند

خدمات پارکینگ هوشمند بر مبنای حسگرهای جاده‌ای و نمایشگرهای هوشمندی قرار دارد که رانندگان را در طول بهترین مسیر به سمت پارکینگ در شهر هدایت می‌کنند و باعث می‌شود زمان کمتری برای یافتن محل پارک خودرو صرف شود و در نتیجه باعث تولید کمتر دی‌اکسید کربن و کاهش ازدحام ترافیکی می‌شود.

۲-۳-۴. روشنایی هوشمند

به منظور پشتیبانی از بخشنامه ۲۰-۲۰-۲۰، بهینه‌سازی راندمان روشنایی در شهرها یکی از مسائل مهم به شمار می‌رود. به طور ویژه این خدمت می‌تواند شدت روشنایی لامپ‌های موجود در خیابان‌ها را مطابق با زمان روشنایی روز، شرایط آب‌وهوایی و همچنین حضور مردم در خیابان‌ها تنظیم نماید [۱۱].

اینترنت اشیا علاوه بر مزایای مختلف، با چالش‌های زیادی نیز روبرو است. در ادامه چالش‌های کلیدی در توسعه شهرهای هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا بیان شده‌اند.

۲-۴. چالش‌های اینترنت اشیا در توسعه شهر هوشمند

اینترنت اشیا در توسعه شهرهای هوشمند نقش اساسی ایفا می‌کند، اما کاربرد آن‌ها با چالش‌های متعددی نیز روبه‌روست که موجب عدم موفقیت یا ایجاد وقفه در پروژه‌های شهر هوشمند می‌شود. در ادامه

قابلیت جابه‌جایی برای گره‌های حسگر و ایستگاه‌های اتوبوس که به‌عنوان سینک عمل می‌کند استفاده شده است.

زینال و همکاران [۱۷] برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در کل شهر هوشمند از تکنیک تک‌عامله دروازه^۴ استفاده نموده که قرارگیری سینک^۵ نام‌گذاری شده است. آن‌ها برای پیاده‌سازی روش پیشنهادی خود از یک گره اضافی بین گره‌ها و سینک استفاده می‌کنند. این تکنیک از یک فرکانس بالا استفاده می‌کند تا بتواند با استفاده از باندهای فرکانسی مختلف بهترین سینک در شبکه را بیابد.

ایجاز و همکاران [۱۸] مروری بر مدیریت مصرف انرژی و چالش‌های موجود در این حوزه در شهرهای هوشمند داشتند. همچنین یک چارچوب یکپارچه برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و زمان‌بندی آن در شهرهای هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا ارائه دادند. همایون و همکاران [۱۹] به مسئله بهینه‌سازی انرژی با استفاده از مزایای فناوری‌های پیشرفته معاصر مانند اینترنت اشیا، نسل پنجم و محاسبات ابری برای بهره‌وری انرژی در شهرهای هوشمند پرداختند. در این پژوهش با استفاده از فناوری‌های پیشرفته، مدلی را پیشنهاد کردند که می‌تواند برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در حوزه‌های مختلف شهرهای هوشمند به‌طور مشابه استفاده شود.

درمجموع، پژوهش‌های حوزه شهرهای هوشمند نشان می‌دهند که دستیابی به کاهش پایدار مصرف انرژی مستلزم ترکیب رویکردهای الگوریتمی و معماری، همراه با سیاست‌گذاری مناسب و مشارکت شهروندان است. بدون در نظر گرفتن این ابعاد، راهکارهای فناورانه به تنهایی نمی‌توانند پاسخ‌گوی پیچیدگی‌های مدیریت مصرف انرژی در شهرهای هوشمند باشند. در این راستا، مرور پژوهش‌های مرتبط با مدیریت مصرف انرژی در بستر اینترنت اشیا و شهرهای هوشمند نشان می‌دهد که اگرچه پژوهش‌های متعددی در حوزه مدیریت مصرف انرژی در شهرهای هوشمند انجام شده، اکثر آن‌ها بر پارامتر فاصله تمرکز داشته و ارتباط میان ابعاد مختلف سایر پارامترها کمتر مورد تحلیل قرار گرفته است. بخش قابل توجهی از پژوهش‌ها به رویکردهای توصیفی برون‌خط^۶ و چندمعیاره اشاره کرده‌اند که فاقد توانایی به‌کارگیری حجم بالایی از داده‌ها هستند. همچنین در این مطالعات، بر استخراج وزن واقعی ابعاد پارامترهای شبکه از طریق الگوریتم‌های یادگیری هوشمند و کاربرد آن در مدیریت و تخصیص منابع انرژی تمرکز نشده است. ازسوی دیگر، اغلب پژوهش‌ها به مشکلات وابستگی الگوریتم‌های مدیریتی به مقیاردی پارامترهایی

روش‌های نوینی برای بهبود کیفیت خدمات به شهروندان نیاز دارند. در این راستا مطالعات مختلف، رویکردهای متفاوتی را ارائه کرده‌اند. یکی از این رویکردها، مبتنی بر الگوریتم است که به استفاده از روش‌های تحلیلی و هوش مصنوعی برای استخراج الگوها و پیش‌بینی وضعیت‌های آینده می‌پردازد. این روش‌ها به بهبود تصمیم‌گیری‌های شهری، پیش‌بینی رفتار شهروندان و بهینه‌سازی زیرساخت‌ها کمک می‌کنند. رویکرد دیگر، مبتنی بر معماری است که بیشتر بر طراحی ساختارها و زیرساخت‌های فناوری اطلاعات متمرکز است. این رویکرد بر توسعه سیستم‌های توزیع‌شده و زیرساخت‌های ارتباطی استوار است که امکان مدیریت بهینه داده‌ها و خدمات را فراهم می‌آورد [۱۳].

موتوله و همکاران [۱۴] بر روی یکی از چالش‌های اصلی در مدل‌های شهر هوشمند که رفتار مصرف‌کننده است، یعنی هدایت تلاش‌ها برای ترویج استفاده بهینه از انرژی در پویایی شهرهای درحال توسعه، از طریق مصرف انرژی کمتر بدون تأثیر بر سطح رضایتمندی پرداختند. آن‌ها در این پژوهش از پارامتر فاصله و فرکانس برای بهینه‌سازی انرژی استفاده کردند. هدف این کار ارائه درک گسترده‌تر از شهر هوشمند و پارامتر انرژی به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری‌های بهره‌وری انرژی است.

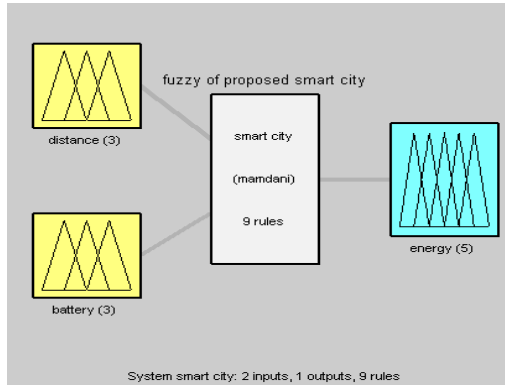
کومار ونکاتسان و همکاران [۱۵] به ردیابی داده‌های جمع‌آوری شده از درصد قابل توجهی از گره‌های حسگر بی‌سیم که برای تصمیم‌گیری و مدیریت شهرهای هوشمند به کار می‌روند پرداختند. همچنین محدودیت‌های متعددی که بر خدمات اینترنت اشیا مبتنی بر شبکه حسگر بی‌سیم تأثیر می‌گذارد، مانند عمر کم باتری، مشکلات اتصال مکرر به دلیل اتصالات چند هاب^۱ و ظرفیت محدود کانال و همچنین، خوشه‌بندی و مسیریابی به‌طور مستقل که از انطباق راهبردهای مؤثر برای استفاده بهینه انرژی و طول عمر طولانی شبکه جلوگیری می‌کند، پرداختند. در این مقاله راهبرد فاصله و رتبه‌بندی مینکوفسکی^۲ به ترتیب برای مسیریابی و انتخاب سرخوشه‌ها استفاده می‌شود. نتایج تجربی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی آن‌ها از برخی از راهبردهای مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی بهتر عمل می‌کند.

کروز و همکاران [۱۶] از یک الگوریتم هوشمند که بهترین مکان سینک^۳ را به‌عنوان عامل در شهر هوشمند پیدا می‌کند استفاده کردند. در این مقاله از سیستم حمل‌ونقل عمومی به‌عنوان یک چارچوب با

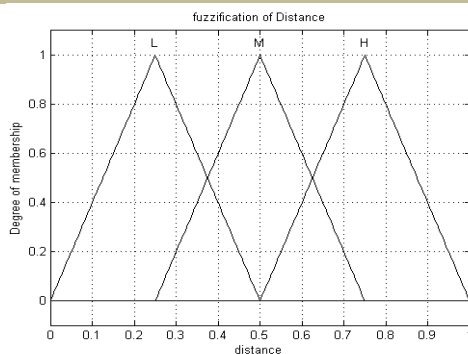
4. Gateway
5. Sink Placement
6. Offline

1. Hub
2. Minkowski
3. Sink

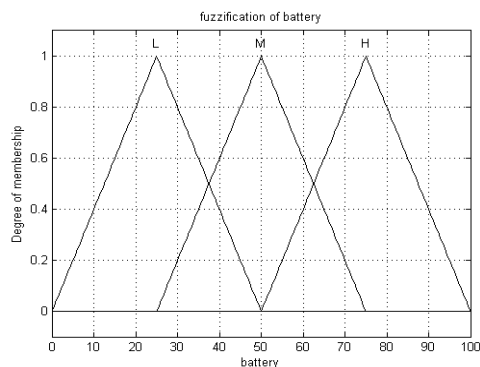
سه مرحله اصلی فازی سازی، نافازی سازی، و ارائه قوانین انجام می شود. ورودی ها شامل فاصله گره ها و میزان مصرف باتری هستند که در شکل های (۳)، (۴) و (۵) نمودار فازی سازی آن ها نشان داده شده اند. شکل (۶) نیز نافازی سازی پارامتر انرژی را نشان می دهد.



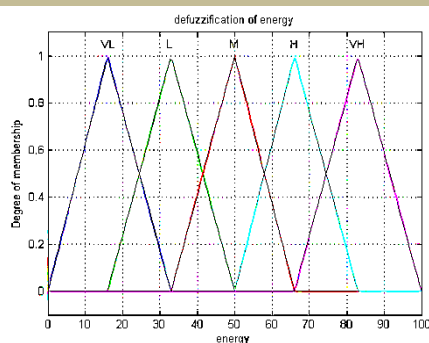
شکل (۳): طرح فازی سازی پارامترهای شبکه



شکل (۴): فازی سازی فاصله در روش پیشنهادی



شکل (۵): فازی سازی مصرف باتری در روش پیشنهادی

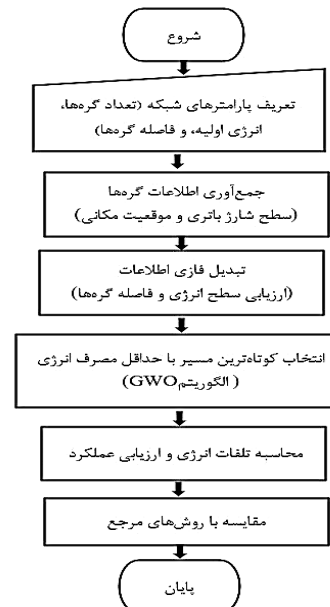


شکل (۶): نافازی سازی پارامتر انرژی در روش پیشنهادی

نظیر آستانه انرژی و نرخ به روزرسانی اشاره می کنند. همچنین در برخی از این الگوریتم ها زمان یادگیری اولیه باعث مصرف انرژی بیشتر و تصمیم های ناپایدار می شود. در این مطالعه، از پارامتر میزان انرژی باتری گره های ارسال کننده کمک گرفته می شود تا با توجه به مقدار فاصله و مقدار شارژ باتری، تصمیم مناسب برای انتخاب بهترین گره ها جهت ارسال اطلاعات اتخاذ شود.

۴. روش پیشنهادی

چارچوب پیشنهادی این پژوهش برای مدیریت مصرف انرژی در شهرهای هوشمند، همان گونه که در شکل (۲) نشان داده شده است، پس از تعریف پارامترهای شبکه، در دو فاز پیاده سازی می شود. در فاز نخست، با توجه به سطح شارژ باتری گره ها و فاصله میان آن ها، یک سیستم فازی وظیفه انتخاب گره های مناسب را بر عهده دارد. سپس، به منظور تعیین کوتاه ترین و بهینه ترین مسیر انتقال انرژی با حداقل مصرف انرژی، از الگوریتم بهینه سازی گرگ خاکستری استفاده می شود تا تلفات انرژی در کل شبکه شهر هوشمند کاهش یابد. در ادامه، پارامترهای ارزیابی محاسبه شده و با روش های موجود مقایسه می شوند تا کارایی روش پیشنهادی مورد بررسی قرار گیرد.



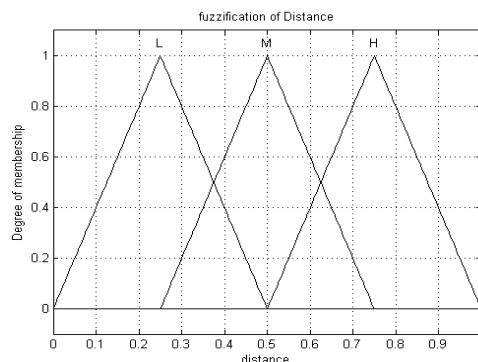
شکل (۲): معرفی چارچوب پیشنهادی

۴-۱. فازی سازی پارامترهای شبکه

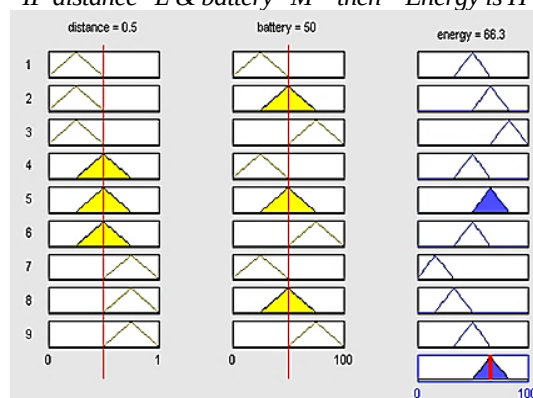
سیستم فازی پیشنهادی از دو ورودی و یک خروجی تشکیل می شود. این سیستم میزان فاصله گره ها از یکدیگر و میزان مصرف باتری در هر گره را به عنوان ورودی دریافت می کند. سپس میزان درصد اتلاف انرژی را در خروجی به گونه ای ارائه می دهد که در مورد بهترین گره های کاندید برای ارسال تصمیم گیری شود. در محاسبات فازی،

۴-۱-۱. قوانین

در روش پیشنهادی براساس دو پارامتر از هر گره تصمیم‌گیری می‌شود که کدام گره برای ارسال داده، گره مناسب‌تری است. به‌طور کلی اگر گره در فاصله کم با میزان شارژ باتری بالایی باشد، گره بسیار مناسبی است، چون هم انرژی باتری بالایی دارد و هم فاصله کوتاهی برای ارسال وجود دارد. بنابراین میزان انرژی آن در خروجی فازی خیلی زیاد می‌شود و بالعکس؛ که در ادامه نمونه‌ای از این قوانین فازی ارائه می‌شوند.



IF distance=L & battery=H then Energy is VH
 IF distance=H & battery=L then Energy is VL
 IF distance=M & battery=L then Energy is M
 IF distance=L & battery=M then Energy is H



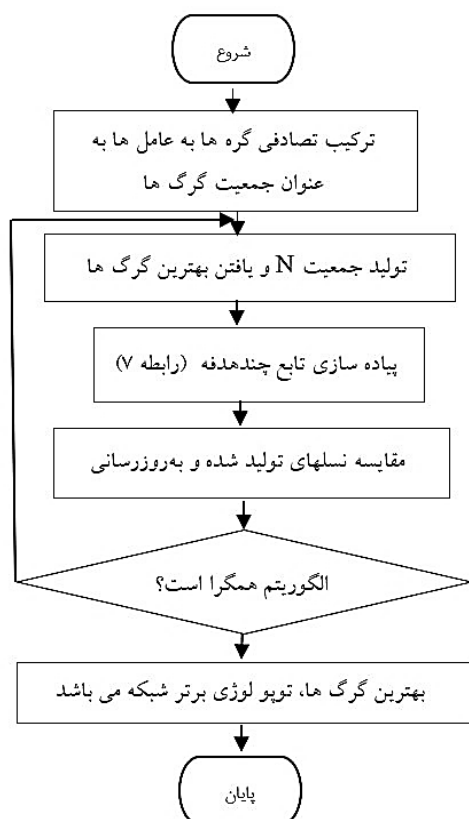
شکل (۷): نمودار قوانین فازی استفاده‌شده در شهر هوشمند

۴-۲. ارسال داده‌ها و الگوریتم گرگ خاکستری

همان‌طور که اشاره شد، روش پیشنهادی از دو بخش تشکیل شده است: در بخش اول یک سیستم فازی بین فاصله و میزان مصرف باتری تصمیم‌گیری می‌کند که کدام گره، انرژی بالاتری را برای ارسال داراست. سپس در این مرحله، حالت‌های مختلف ارسال گره‌ها به سمت سینک یا ابر اینترنت اشیا با تمرکز به رسیدن به بهترین مقدار تابع هدف بررسی می‌گردد؛ به‌گونه‌ای که پارامترهای ارزیابی کل شهر هوشمند شامل بهینه‌ترین مقدار شوند. برای این منظور از الگوریتم گرگ خاکستری استفاده شده است. شکل (۸) روند نمای اجرای

الگوریتم گرگ خاکستری را نشان می‌دهد. الگوریتم گرگ خاکستری به‌دلیل سادگی ساختار، توانایی عبور از بهینه‌های محلی و همگرایی نسبتاً پایدار، انتخاب مناسبی برای حل مسائل پیچیده غیرخطی مانند مدیریت مصرف انرژی و تخصیص منابع محسوب می‌شود که روش‌های کلاسیک در حل آن‌ها با محدودیت مواجه‌اند. درضمن، وجود تناسب بین جست‌وجوی سراسری و محلی یکی از نقاط قوت این الگوریتم محسوب می‌شود که برای مسائل بزرگ سادگی و کارایی بالایی دارد.

همان‌طور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود، ابتدا عامل‌هایی که در کل شهر هوشمند وجود دارند، به‌عنوان جمعیت گرگ‌ها در نظر گرفته می‌شود و سپس N جمعیت از آن‌ها تولید می‌گردد. سپس بهترین جمعیت گرگ‌ها (گرگ‌های آلفا) در کل شهر مشخص می‌شود و با استفاده از یک تابع چندهدفه، این مسئله پیاده‌سازی و نسل‌های گرگ‌ها آن‌قدر به‌روز می‌گردد تا الگوریتم همگرا شود. سپس بهترین گرگ‌های آلفا به‌عنوان جواب شبکه انتخاب می‌شوند. در واقع انتخاب گرگ‌ها در شهر هوشمند، نوع اتصال گره‌ها برای ارسال اطلاعات به ابر هستند.



شکل (۸): روند نمای اجرای الگوریتم گرگ خاکستری در روش پیشنهادی

۴-۲-۱. جمعیت

در یک مسئله بهینه‌سازی، تابع هزینه می‌تواند یک تابع ریاضی، یک آزمون یا یک مسابقه باشد. در این روش هریک از اعضا که میزان تابع هزینه کمتری داشته باشد، از شایستگی بیشتری برخوردار خواهد شد و شانس آن برای باقی ماندن در میان اعضای جمعیت و همچنین ایجاد عضو جدید بیشتر می‌گردد. هدف در مسائل بهینه‌سازی یافتن بهترین جواب برحسب متغیرهای مسئله است. بنابراین در ابتدا برای تعریف مسئله شهر هوشمند با الهام از الگوریتم گرگ خاکستری، هریک از اعضای جمعیت به صورت آرایه‌ای از متغیرها در نظر گرفته می‌شوند و سپس عملیات بهینه‌سازی بر روی آن‌ها صورت می‌گیرد. اگر هریک از اعضای جمعیت گرگ‌ها در آرایه‌ای از گره‌های عامل دارای $Nvar$ متغیر (N ابعاد مسئله است) به صورت $p1, p2, \dots, pNvar$ باشند، در این صورت هریک از آن‌ها به صورت آرایه‌ای با $Nvar \times 1$ عنصر مطابق رابطه (۱) بیان می‌شوند.

$$Individual = P = [p1, p2, p3, \dots, pNvar] \quad (1)$$

هریک از این عضوها دارای یک مقدار هزینه هستند که با ارزیابی متغیرهای $p1, p2, p3, \dots, pNvar$ توسط تابع هزینه f به دست می‌آید.

$$Cost = f(Individual) = f(p1, p2, p3, \dots, pNvar) \quad (2)$$

برای ایجاد یک جمعیت اولیه از شهر هوشمند با $Npop$ عضو، ماتریسی با ابعاد $Npop \times Nvar$ ایجاد می‌شود. هر سطر این ماتریس یک آرایه $Nvar \times 1$ از متغیرهای مسئله است که به صورت تصادفی تولید می‌شوند. در صورت نیاز به نرمال‌سازی متغیرها از رابطه (۳) استفاده می‌شود.

$$Population = rand(Npop, Nvar) \quad (3)$$

در رابطه فوق، تابع $rand$ اعداد تصادفی با توزیع احتمال یکنواخت در فاصله ۰ و ۱ ایجاد می‌کند. در صورتی که مقادیر متغیرها در فاصله plo و phi تغییر کنند، مقادیر نرمال هریک به صورت رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$p = rand(1) (phi - plo) + plo \quad (4)$$

در رابطه (۴)، phi بیشترین مقدار و plo کمترین مقدار متغیرها را مشخص می‌کنند. در ادامه، هریک از اعضا با استفاده از تابع هزینه ارزش‌دهی می‌شوند. در صورت نیاز، مقدار هریک از متغیرهای به‌وجودآمده به نزدیک‌ترین عدد صحیح تبدیل می‌شوند.

۴-۲-۲. تابع هدف پیشنهادی

تابع چندهدفه مورد استفاده بر مبنای رابطه‌های (۵) و (۶) ایجاد می‌شود. بخش اول تابع هدف، یک وظیفه را از لحاظ اندازه حداقل

می‌کند و بخش دوم، مقدار کیفیت سرویس را افزایش می‌دهد که به شکل روابط زیر تعریف می‌شوند.

$$Minimize f(Sk) = Sk | \forall j \exists i. f(Si) \leq f(Sj) \quad (5)$$

$$Minimize f(Qk) = Qk | \forall j \exists i. f(Qi) \leq f(Qj) \quad (6)$$

از روابط فوق نتیجه گرفته می‌شود:

$$Fitness = W1 * T + W2 * B + W3 * 1/E \quad (7)$$

$$S, Q \in T(ID, Q, S), \quad 0 < W < 1$$

$$i = \{1, 2, 3, \dots, n\}, j = \{1, 2, 3, \dots, n\}, k = \{1, 2, 3, \dots, n\}$$

S سایز وظیفه و Q مقدار QOS (کیفیت سرویس) برای آن

وظیفه است. T زمان، B پهنای باند و E توان عملیاتی (انرژی) باقی‌مانده در شبکه است [۲۰].

مراحل بهینه‌سازی تا زمانی که جواب قابل قبول به دست آید تکرار می‌شوند. در صورتی که تعداد تکرارهای در نظر گرفته شده برای الگوریتم خاتمه یابد و یا نتیجه قابل قبول و پاسخ همگرا شود، اجرای الگوریتم متوقف می‌شود.

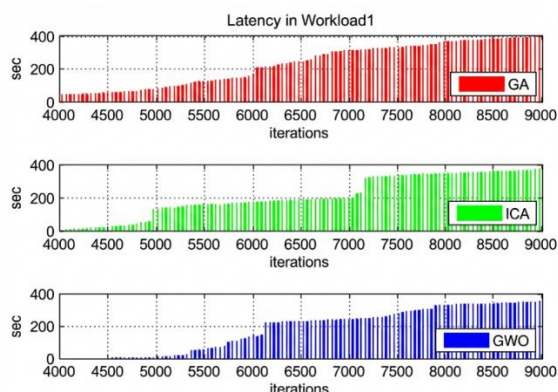
۵. مراحل اجرا و جزئیات پیاده‌سازی

پیاده‌سازی روش پیشنهادی توسط نرم‌افزار MATLAB انجام شده است. یک میزبان می‌تواند هم‌زمان چندین گره در شهر هوشمند را پشتیبانی نماید و هسته‌ها را با توجه به سیاست‌های از پیش تعریف‌شده اشتراک، تخصیص دهد. جدول (۱) پارامترهای ابر در محیط اینترنت اشیا پژوهش را نشان می‌دهد. پارامترهای شبکه و مقادیر اولیه وظایف نیز به ترتیب در جداول (۲) و (۳) نشان داده شده‌اند.

جدول (۱): پارامترهای ابر در اینترنت اشیا	
پارامتر	مقدار
حداکثر تعداد سرورهای IOT	۱۰
تعداد میلیون دستورات اجرایی در هر ثانیه MIPS	۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰
اندازه حافظه گرافیک	۱۰۰۰۰ KB
حافظه	۵۱۲ KB
پهنای باند	۱۰۰۰ KB/S
تعداد پردازنده	۱

جدول (۲): پارامترهای شبکه	
پارامتر	مقدار
تعداد میلیون دستورات اجرایی در هر ثانیه	۵۰۰ MIPS
ظرفیت حافظه	۶۱۴۴ KB
ظرفیت ذخیره‌سازی	۳۰۰۰۰۰ KB
پهنای باند	۳۰۰۰ KB/S
تعداد گره‌ها	۴۰۰

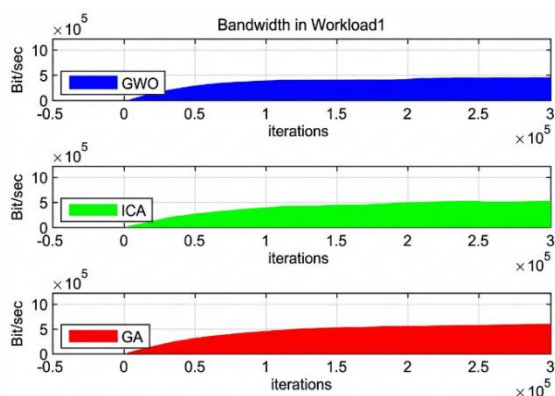
پیشنهادی و سناریو ۱ را در مقابل الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در کل تکرارها مقدار الگوریتم پیشنهادی به رنگ آبی تأخیر زمانی کمتری را به نسبت دو الگوریتم دیگر در کل شبکه به دست آورده است.



شکل (۱۰): نتایج تأخیر زمانی برای سناریوی ۱

۵.۳. نتایج پارامتر پهنای باند

نتایج شبیه‌سازی روش پیشنهادی برای اندازه‌گیری پهنای باند در شکل (۱۱) نشان داده شده است. در این شکل، روش پیشنهادی با رنگ آبی برای سناریو ۱ در مقابل دو روش مقایسه‌ای الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم ژنتیک پهنای باند کمتری مصرف نموده است؛ در نتیجه برای حجم اطلاعات ارسالی میزان انرژی مصرفی باتری هر کدام از گره‌ها کاهش می‌یابد.



شکل (۱۱): نتایج پهنای باند برای سناریوی ۱

۵.۴. نتایج پارامتر توان عملیاتی شبکه

در این بخش برای بررسی دقیق میزان مصرف انرژی در شبکه، توان عملیاتی شبکه اندازه‌گیری می‌شود. هرچه قدر توان عملیاتی به مقدار اولیه نزدیک‌تر باشد، به معنی مصرف کمتر انرژی در شبکه است. در شکل (۱۲) توان عملیاتی در سناریوی ۱ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که روش پیشنهادی با رنگ قرمز در مقابل دو روش مقایسه‌ای الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم ژنتیک توان عملیاتی کمتری مصرف نموده است.

جدول (۳): مقادیر اولیه وظایف

پارامتر	مقدار
طول	۴۰۰۰ km
حداقل سباز وظایف	۱۰۰۰ KB
حداکثر سباز وظایف	۸۰۰۰ KB
حافظه	۱۰۰ KB

سناریوهایی که برای شبیه‌سازی و ارزیابی در نظر گرفته شده، بر مبنای مقادیر مختلف سرورهای اینترنت اشیا و وظایف هستند که در جدول (۴) نشان داده شده‌اند.

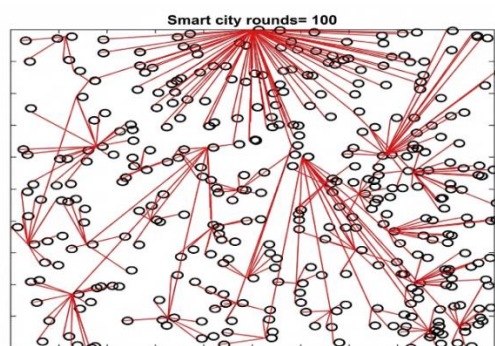
جدول (۴): سناریوهای پیاده‌سازی

Scenario	IOT تعداد سرورهای	تعداد وظایف
Scenario 1	۳	۲۰
Scenario 2	۳	۵۰
Scenario 3	۵	۵۰
Scenario 4	۳	۱۰۰
Scenario 5	۱۰	۱۰۰
Scenario 6	۳	۲۰۰

با استفاده از پارامترهای سناریوها، شبیه‌سازی انجام شده و در بخش بعدی نتایج آن‌ها و همچنین مقایسه با نتایج اجرای الگوریتم‌های رقابت استعماری و ژنتیک نشان داده می‌شوند [۲۰].

۵.۱. نتایج اجرای سناریوها

در این پژوهش، انتخاب اینکه کدام گره، گره عامل در نظر گرفته شود و بقیه گره‌ها اطلاعات را به گره عامل ارسال نمایند، تصادفی است. این حالت تصادفی، بی‌نهایت مقدار ممکن دارد که یک حالت آن در تکرار ۱۰۰ در شکل (۹) نشان داده شده است. چالش اصلی در این تحقیق، یافتن بهترین تکرار به همراه مقادیر بهینه است.

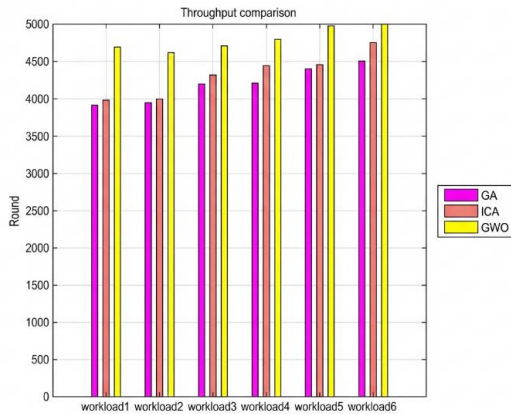


شکل (۹): توپولوژی شبکه در تکرار ۱۰۰

۵.۲. نتایج پارامتر زمان

یکی از مهم‌ترین پارامترها در شهر هوشمند زمان کل ارسال داده‌هاست. شکل (۱۰) نتایج تأخیر زمانی کل شبکه برای الگوریتم

و در نهایت مقدار توان عملیاتی روش پیشنهادی در مقابل دو روش دیگر برای همه سناریوها در شکل (۱۵) نشان می‌دهد که در همه سناریوها توان عملیاتی نهایی روش پیشنهادی مقدار بالاتری از دو روش دیگر است.



شکل (۱۵): توان عملیاتی شبکه برای همه سناریوها

۵.۵. مقایسه نتایج

مقادیر تأخیر زمانی، پهنای باند و توان عملیاتی در هر ۶ سناریو برای روش پیشنهادی در مقابل دو روش دیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. در جدول (۵) نتایج تأخیر زمانی برای روش پیشنهادی در مقابل سایر روش‌ها نشان داده شده است.

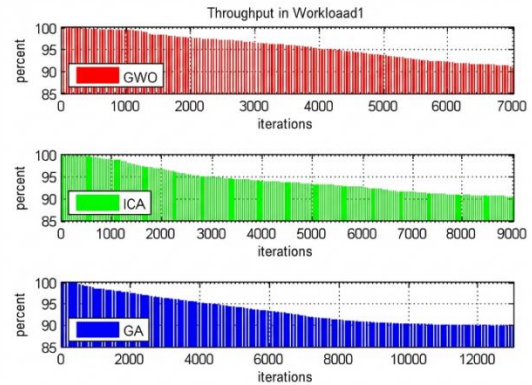
جدول (۵): نتایج تأخیر زمانی در سناریوهای مختلف

latency_over	GWO	ICA	GA
Scenario1	348	371	398
Scenario2	305	335	331
Scenario3	350	376	397
Scenario4	304	338	352
Scenario5	367	381	382
Scenario16	224	280	284

نتایج مقادیر پهنای باند مصرفی روش پیشنهادی در مقابل سایر روش‌ها در جدول (۶) نشان داده شده است.

جدول (۶): نتایج پهنای باند در سناریوهای مختلف

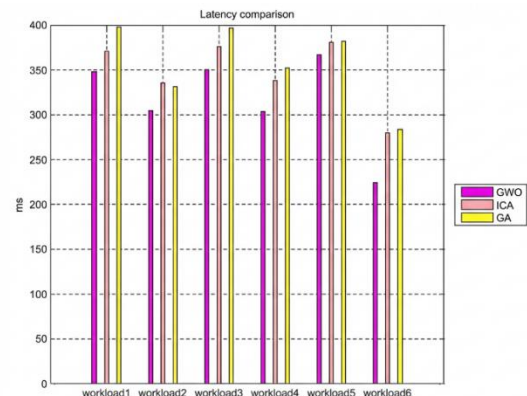
Bandwidth_over	GWO	ICA	GA
Scenario1	420	510	598
Scenario2	380	450	479
Scenario3	648	720	805
Scenario4	735	782	842
Scenario5	805	870	930
Scenario6	870	998	1050



شکل (۱۲): مقایسه توان عملیاتی شبکه در سناریوی ۱

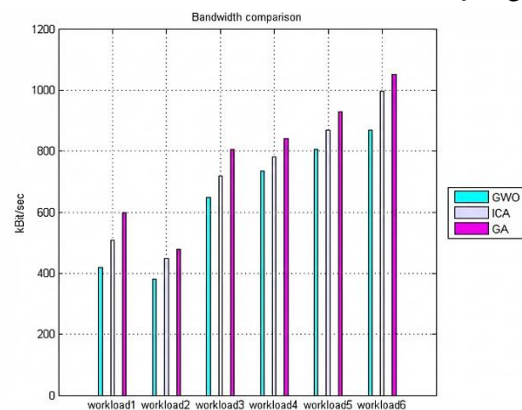
۵.۵. مقایسه همه سناریوها

در این بخش، نمودار تجمیعی همه سناریوها برای روش پیشنهادی در مقابل دو الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم ژنتیک برای سه پارامتر ارزیابی نشان داده شده است. در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود به‌ازای همه سناریوها روش پیشنهادی تأخیر زمانی کمتری از دو الگوریتم دیگر دارد.



شکل (۱۳): تأخیر زمانی شبکه برای همه سناریوها

همچنین در شکل (۱۴) مشاهده می‌شود به‌ازای همه سناریوها روش پیشنهادی در مقابل روش‌های مقایسه‌ای دیگر پهنای باند مصرفی کمتری دارد.



شکل (۱۴): نمودار پهنای باند شبکه برای همه سناریوها

عملیاتی الگوریتم پیشنهادی نیز در سناریو ۱ نسبت به الگوریتم استعماری ۱/۷۶ درصد بهبود و نسبت به ژنتیک ۱۶/۸۶ درصد بهبود داشته است.

۷. نتیجه گیری و پیشنهادات آتی

در این تحقیق به بررسی مزایا و چالش‌های اینترنت اشیا در شهر هوشمند پرداخته شد و یک چارچوب پیشنهادی برای مدیریت مصرف انرژی در شهر هوشمند ارائه گردید. این چارچوب مدیریت مصرف انرژی مبتنی بر پارامتر میزان شارژ باتری گره‌ها است که به همراه پارامتر فاصله به انتخاب مسیر بهینه برای ارسال داده‌ها می‌پردازد. به دلیل تفاوت نوع پارامتر شارژ باتری و پارامتر فاصله و جهت سهولت ترکیب این دو پارامتر از سیستم فازی سازی مثلثی در ورودی و خروجی و از موتور استنتاج ممدانی استفاده شد که با استفاده از فازی سازی هرکدام از ورودی‌های فاصله و شارژ باتری‌ها بتوان مقدار انرژی هر گره کاندید را با استفاده از نافازی سازی در خروجی مشخص نمود. سپس یک سیستم چندعامله تعریف شد تا گره‌ها بتوانند اطلاعات را به عامل‌ها ارسال و سپس عامل‌ها اطلاعات را منتقل نمایند و به این ترتیب مصرف انرژی در کل شبکه کاهش یابد. در ادامه یک الگوریتم بهینه سازی، وظیفه انتخاب بهترین عامل‌ها از بین بی شمار حالت مختلف را بر عهده دارد که از یک تابع چندهدفه نیز استفاده می‌کند. نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد عملکرد الگوریتم گرگ خاکستری به نسبت دو الگوریتم مقایسه‌ای رقابت استعماری و ژنتیک در روش پیشنهادی بهتر است.

برای ادامه پژوهش در این حوزه پیشنهاد می‌شود که به جای مجموعه فازی از انواع شبکه عصبی یا شبکه‌های یادگیری عمیق جهت تصمیم‌گیری استفاده شود. همچنین در بخش بهینه سازی پیشنهاد می‌شود از قابلیت‌های سایر الگوریتم‌های مناسب این حوزه مانند الگوریتم جست‌وجوی هارمونی نیز استفاده شود.

همچنین، توان عملیاتی کل شهر هوشمند برای همه سناریوها به ازای روش پیشنهادی در مقابل دو روش دیگر در جدول (۷) نشان داده شده است.

جدول (۷): توان عملیاتی شبکه در سناریوهای مختلف

Throughput_over	GA	ICA	GWO
Scenario1	3910	3980	4703
Scenario2	3950	3990	4624
Scenario3	4200	4320	4710
Scenario4	4210	4453	4800
Scenario5	4400	4459	4980
Scenario16	4500	4752	5000

۶. ارزیابی

برای بررسی کارایی روش پیشنهادی، مقادیر پارامترهای مختلف بر روی شبکه اندازه‌گیری و مقایسه شدند. در این تحقیق سه پارامتر زمان، پهنای باند و توان عملیاتی کل گره‌های شبکه به عنوان پارامتر ارزیابی در هر اجرا اندازه‌گیری و به شکل نمودار و جدول نشان داده شدند. در ادامه، معیارهای ارزیابی در روش‌های مقایسه‌ای نیز با همین شرایط پیاده‌سازی و به شکل نمودار نمایش داده شدند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در هر شش سناریو میزان تأخیر زمانی برای روش پیشنهادی در مقابل دو روش مقایسه‌ای رقابت استعماری و ژنتیک مقادیر بهتری را دارا می‌باشد. همچنین میزان توان عملیاتی و پهنای باند نیز برای روش پیشنهادی در مقابل دو روش دیگر مقادیر بهتری را دارا هستند. نتایج نشان می‌دهند که برای تأخیر زمانی در سناریو ۱، الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم استعماری ۶/۲۰ درصد بهبود داشته است و الگوریتم پیشنهادی نسبت به ژنتیک ۱۲/۶ درصد بهبود دارد. همچنین مقدار پهنای باند مصرفی الگوریتم پیشنهادی در سناریو ۱، نسبت به الگوریتم استعماری ۱۷/۶۵ درصد بهبود و نسبت به ژنتیک ۲۹/۷۶ درصد بهبود داشته است. توان

مراجع

- [1] Dahmane, W.M., Ouchani, S., Bouarfa, H., "Smart cities services and solutions: A systematic review", Data and Information Management. Vol. 9, No. 2, 100087, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.dim.2024.100087>
- [2] Zeng, F., Pang, C., Tang, H., "Sensors on internet of things systems for the sustainable development of smart cities: a systematic literature review", Sensors, Vol. 24, No. 7, p. 2074, 2024, <https://doi.org/10.1109/MCE.2016.2556879>.
- [3] Fallahi, A., Faraji, A., Gharibi, A., "Analysis of Key Barriers to the Use of the Internet of Things in Iranian Smart Cities (Structural Analysis Method)", Business Intelligence Management

- Studies. Vol. 10, No. 38, pp. 137-171, 2021, <https://doi.org/10.22054/ims.2021.63159.2037>,
- [4] Bellini, P., Nesi, P., Pantaleo, G., "IoT-enabled smart cities: A review of concepts, frameworks and key technologies", Applied Sciences. Vol. 12, No. 3, p. 1607, 2022, <http://doi.org/10.3390/app12031607>.
- [5] Al Sharif, R., Pokharel, S., "Smart city dimensions and associated risks: Review of literature", Sustainable Cities and Society, Vol. 77, 103542, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103542>.
- [6] Zhou, I., Makhdoom, I., Shariati, N., Raza, M.A., Keshavarz, R., Lipman, J., Abolhasan, M., Jamalipour, A., "Internet of things 2.0: Concepts, applications, and future directions", IEEE Access, Vol. 9, , pp. 70961-71012, 2021, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3078549>.
- [7] Li, Y., Xie, S., Wan, Z., Lv, H., Song, H., Lv, Z., "Graph-powered learning methods in the Internet of Things: A survey", Machine Learning with Applications, Vol. 11, 100441, 2023 <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2022.100441>.
- [8] Syed, A.S., Sierra-Sosa, D., Kumar, A., Elmaghraby, A., "IoT in smart cities: A survey of technologies, practices and challenges", Smart Cities. Vol. 4, No. 2, pp. 429-475, 2021, <https://doi.org/10.3390/smartcities4020024>.
- [9] Mehmood, Y., Ahmad, F., Yaqoob, I., Adnane, A., Imran, M., Guizani, S., "Internet-of-things-based smart cities: Recent advances and challenges", IEEE Communications Magazine, Vol. 55, No. 9, pp.16-24, 2017, <https://doi.org/10.1109/mcom.2017.1600514>.
- [10] Alotaibi, A., Aldawghan, H., Aljughaiman, A., "A review of the authentication techniques for internet of things devices in smart cities: opportunities, challenges, and future directions", Sensors, Vol. 25, No. 6, 1649, 2025, <https://doi.org/10.3390/s25061649>
- [11] Zaman, M., Puryear, N., Abdelwahed, S., Zohrabi, N., "A review of IoT-based smart city development and management", Smart Cities, Vol. 7, No. 3, pp. 1462-1501, 2024, <https://doi.org/10.3390/smartcities7030061>
- [12] Manickam, S., Kooy, A., "Internet of things for smart cities: Challenges, security and privacy issues", Security and Privacy Issues. Vol. 17, pp. 37-49, 2021, <http://doi.org/10.2139/ssrn.3713677>.
- [13] Karimi, Y., Haghi Kashani, M., Akbari, M., Mahdipour, E., "Leveraging big data in smart cities: A systematic review", Concurrency and Computation: Practice and Experience. Vol. 33, No. 21, e6379, 2021, <https://doi.org/10.1002/cpe.6379>.
- [14] Mutule, A., Domingues, M., Ulloa-Vasquez, F., Carrizo, D., García-Santander, L., Dumitrescu, A.M., Issicaba, D., Melo L., "Implementing smart city technologies to inspire change in consumer energy behavior", Energies. Vol. 14, No. 14, pp. 1-15, , 2021, <http://doi.org/10.3390/en14144310>.
- [15] Venkatesan, V.K., Izonin , I., Periyasamy, J., Indirajithu, A., Batyuk, A., Ramakrishna, M.T., "Incorporation of energy efficient computational strategies for clustering and routing in heterogeneous networks of smart city", Energies, Vol. 15, No. 20, p. 7524, 2022, <https://doi.org/10.3390/en15207524>.
- [16] Cruz, P., Couto, R.S., Costa, L.H., "An algorithm for sink positioning in bus-assisted smart city sensing", Future Generation Computer Systems. Vol. 93, pp. 761-769, 2019, <http://doi.org/10.1016/j.future.2017.09.018>.
- [17] Zainal, N.B., Habaebi, M.H., Chowdhury, I., Islam, M., Daoud, J.I., "Gateway sink placement for sensor node grid distribution in LoRa smart city networks", Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. Vol. 14, No. 2, pp. 834-842, 2019, <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v14.i2.pp834-842>
- [18] Ejaz, W., Naeem, M., Shahid, A., Anpalagan, A., Jo, M., "Efficient energy management for the internet of things in smart cities", IEEE Communications magazine, Vol. 55, No. 1, pp. 84-91, 2017, <http://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600218CM>
- [19] Humayun, M., Alsaqer, M.S., Jhanjhi, N., "Energy optimization for smart cities using iot", Applied Artificial Intelligence, Vol. 36, No. 1,

p.2037255, 2022,
<https://doi.org/10.1080/08839514.2022.2037255>

- [20] Lakra, A.V., Yadav, D.K., "*Multi-objective tasks scheduling algorithm for cloud computing throughput optimization*", *Procedia Computer Science*, Vol. 48, pp. 107-113, 2015, <https://doi.10.1016/j.procs.2015.04.158>.