

Prolonging Lifetime for Wireless Sensor Networks Using TOPSIS-fuzzy Scheme

Mohammad Alaei*¹, Fahimeh Yazdanpanah²

¹ Associate Professor , Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran. (Correspondence: alaeim@vru.ac.ir)

² Associate Professor , Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran. yazdanpanahf@vru.ac.ir

ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research paper

Receive: 13 July 2025

Revise: 14 September 2025

Accept: 14 October 2025

Available online: 23 October 2025

Keywords:

Wireless sensor networks

TOPSIS-fuzzy

Load balancing

Network Lifetime optimization

ABSTRACT

Nowadays, in various fields and applications, wireless sensor networks have wide applications. The main task of sensor nodes in applications is to sense the environment and its changes, as well as report the events in the target area and send the sensed data to the sink or base station. The resource limitation of sensor nodes and the unreliability of low-energy wireless links, and on the other hand, different performance demands in various applications, create challenges in designing a suitable communication protocol with load balancing capability for wireless sensor networks. Efficient clustering can balance load and increase lifetime in wireless sensor networks. In this paper, a method of lifetime prolongation for nodes and thus for wireless sensor networks based on the fuzzy TOPSIS, is proposed. By considering the effective parameters for load balancing, such as the energy of the cluster heads and cluster nodes, cluster stability and data transmission distance, the proposed clustering is carried out in such a way that load balancing causes balanced energy consumption in nodes and increases the network's lifetime. The results of various evaluations show the effectiveness of the proposed method in comparison with other methods in increasing and balancing the lifetime of nodes.

Cite this article: Alaei, M., & Yazdanpanah, F. (2025). Prolonging Lifetime for Wireless Sensor Networks Using TOPSIS-fuzzy Scheme. *Electronic and Cyber Defense*, 13(3), 147-161. DOR: <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1404.13.3.10.9>



© The Author(s). retain the copyright and full publishing rights
Publisher: Imam Hossein University

افزایش طول عمر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با به‌کارگیری روش تاپسیس فازی

محمد علائی^{۱*}، فهیمه یزدان پناه^۲

^۱ دانشیار، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران. (نویسنده مسئول: alaeim@vru.ac.ir)

^۲ دانشیار، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران. yazdanpanahf@vru.ac.ir

چکیده	مشخصات مقاله
امروزه در زمینه‌های مختلف، شبکه‌های حسگر بی‌سیم کاربردهای گسترده‌ای دارند. وظیفه اصلی گره‌های حسگر در برنامه‌های کاربردی، حس کردن محیط و تغییرات آن، همچنین گزارش حوادث غیرمترقبه در ناحیه هدف و ارسال داده‌های حس شده به گره چاهک یا ایستگاه پایه است. محدودیت منابع و انرژی گره‌های حسگر و غیرقابل اطمینان بودن پیوندهای بی‌سیم، و از طرفی، تقاضاهای عملکرد مختلف در برنامه‌های کاربردی گوناگون، چالش‌هایی را در طراحی یک پروتکل ارتباطی مناسب با قابلیت تعادل بار برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم ایجاد می‌نماید. خوشه‌بندی کارآمد می‌تواند موجب تعادل بار و افزایش طول عمر در شبکه حسگر بی‌سیم شود. در این مقاله، روشی برای افزایش طول عمر گره‌های شبکه‌های حسگر بی‌سیم و در نتیجه، افزایش طول عمر شبکه، مبتنی بر روش تاپسیس فازی ارائه می‌شود. با لحاظ نمودن پارامترهای مؤثر در توازن بار گره‌ها، از قبیل انرژی سرخوشه و گره‌های خوشه، پایداری خوشه و مسافت انتقال داده، خوشه‌بندی را به نحوی انجام می‌دهیم که این توازن بار در شبکه، باعث مصرف متعادل انرژی گره‌ها و افزایش طول عمر شبکه شود. نتایج ارزیابی‌های انجام شده، کارآمدی روش پیشنهادی را در مقایسه با روش‌های دیگر، در افزایش و متوازن سازی طول عمر گره‌ها، نشان می‌دهد.	تاریخچه مقاله: نوع مقاله: علمی - پژوهشی دریافت: ۲۲ تیر ۱۴۰۴ بازنگری: ۲۳ شهریور ۱۴۰۴ پذیرش: ۲۲ مهر ۱۴۰۴ ارائه آنلاین: ۰۱ آبان ۱۴۰۴ کلیدواژه‌ها: شبکه‌های حسگر بی‌سیم تاپسیس فازی متوازن سازی بار بهینه‌سازی طول عمر شبکه

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، با پیشرفت در مجتمع سازی و طراحی مدارهای با مصرف توان کم و نیز با توسعه سخت‌افزارهای بی‌سیم و باتری‌هایی با اندازه کوچک، گره‌های حسگر بی‌سیم کارا با اندازه‌های مختلف ساخته شده‌اند. این گره‌ها، با حس کردن محیط اطراف با پردازش‌های کم حجم و تبادل داده‌ها به صورت بی‌سیم، امکان ایجاد شبکه‌های حسگر بی‌سیم^۱ با هزینه کم را فراهم می‌کنند. شبکه حسگر بی‌سیم از تعداد زیادی گره‌های حسگر و با باتری محدود که در ناحیه‌ای با عنوان میدان حس پراکنده می‌شوند، تشکیل می‌شود. در این شبکه‌ها، یک گره چاهک^۲ بر کل شبکه نظارت دارد. داده‌ها توسط چاهک جمع‌آوری می‌شوند و پیام‌های کنترلی و فرمان‌ها نیز از طریق آن منتشر می‌شوند. مدارهای پایش، پارامترهای پیرامون محیط حسگر را اندازه‌گیری می‌کنند و انتقال می‌دهند [3-1].

اجزای اصلی یک گره حسگر، واحد حسگر، واحد فرستنده و گیرنده، پردازشگر و باتری (منبع تغذیه) می‌باشند. علاوه بر این واحدها، یک گره حسگر بنا به کاربرد ممکن است واحدهای دیگری نظیر سیستم موقعیت‌یاب، یا موتور برای تغییر مکان داشته باشد. همه واحدها برای انجام وظایف خود، از منبع تغذیه انرژی دریافت می‌کنند. از طرفی، انرژی ذخیره‌شده در منبع تغذیه محدود و تمام‌شدنی است. طول عمر^۳ یک گره، عبارت است از مدت‌زمانی که گره می‌تواند تا اتمام انرژی موجود در باتری خود، کار کند. بنابراین، همه پروتکل‌ها و کاربردهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم به گونه‌ای طرح می‌شوند که مصرف انرژی در آن‌ها، بسیار صرفه‌جویانه و بهینه باشد [5 و 4].

برای افزایش طول عمر شبکه، نه تنها افزایش طول عمر گره‌ها اهمیت فراوانی دارد، بلکه متوازن‌سازی مصرف انرژی در آن‌ها نیز یک شرط اساسی است. زیرا، مصرف انرژی نامتوازن در گره‌ها، موجب طول عمرهای ناهمگون برای آن‌ها می‌شود. هنگامی که گره‌هایی از شبکه، به این دلیل زودتر می‌میرند، حفره‌هایی در شبکه ایجاد می‌گردد که پیوستگی بسیاری از اتصالات شبکه را ضعیف یا قطع می‌کنند و لذا، طول عمر شبکه را کاهش می‌دهند. برای متوازن‌سازی مصرف انرژی، بارکاری گره‌ها را باید متوازن نمود. چراکه، بارکاری گره، تعیین‌کننده میزان مصرف انرژی در گره است. از این رو، موضوع بهینه‌سازی مصرف انرژی و متوازن‌سازی بار در شبکه‌های حسگر بی‌سیم همواره از اهمیت چشمگیری برخوردار است [7 و 6].

روش‌های زیادی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مطرح شده است که هدف همه آن‌ها، انتقال داده و اجرای پروتکل‌ها و برنامه‌های کاربردی، به گونه‌ای که مصرف

انرژی در آن‌ها کاهش پیدا کند، است. بیشترین مقادیر مصرف انرژی در یک گره حسگر به ترتیب مربوط به ارسال داده، دریافت داده و عملیات حس و مناسب‌سازی داده می‌باشند. کاهش داده‌های تکراری و فشرده‌سازی داده‌ها، مدیریت زمان‌بندی خواب‌بیدار، ناحیه بندی^۴ و خوشه‌بندی^۵ از جمله فن‌های مورد استفاده در خصوص کاهش مصرف انرژی گره‌ها می‌باشند [8].

با استفاده از روش‌های خوشه‌بندی، می‌توان به طور چشمگیری چالش محدودیت انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم را مرتفع نمود. خوشه‌بندی علاوه بر ایجاد مقیاس‌پذیری شبکه، مزیت‌های زیادی دارد. خوشه‌بندی می‌تواند ایجاد مسیر درون خوشه را امکان‌پذیر سازد و بنابراین مقدار اطلاعات مسیریابی ذخیره‌شده در گره‌ها را کاهش دهد. همچنین، خوشه‌بندی می‌تواند پهنای باند ارتباطی را حفظ کند، چون ارتباط بین خوشه‌ای را به سرخوشه‌ها محدود می‌کند و از انتقال اضافه بسته‌ها بین گره‌های حسگر جلوگیری می‌کند. علاوه بر این، خوشه‌بندی می‌تواند همبندی شبکه را به صورت درون خوشه‌ای و بین خوشه‌ای، تثبیت کند [11-9]. یکی از سخت‌ترین چالش‌ها در خوشه‌بندی، نحوه‌ی انتخاب گره سرخوشه^۶ است زیرا در انتخاب یک گره سرخوشه عوامل و پارامترهای زیادی تأثیر دارند. انتخاب گره سرخوشه را می‌توان به عنوان یک مسئله NP-HARD شناخت چراکه روشی کاملاً دقیق را نمی‌توان برای آن، ارائه کرد. الگوریتم‌های متعددی برای انتخاب مناسب‌ترین سرخوشه‌ها، تعداد بهینه خوشه، زمان‌بندی و چرخش نقش سرخوشه بین گره‌ها ارائه شده است که همگی در جهت کاهش مصرف انرژی گام برداشته‌اند [15-12].

در این مقاله، با تعریف پارامترهایی برای توازن بار گره‌های شبکه و مصرف متوازن انرژی گره‌ها، یک روش خوشه‌بندی بر اساس تاپسیس فازی طرح و پیشنهاد می‌شود که با متوازن‌سازی بارکاری گره‌ها، طول عمر شبکه را افزایش می‌دهد. در روش پیشنهادی، برای تشکیل خوشه‌ها و انتخاب گره‌های سرخوشه، معیار جدیدی تحت عنوان پایداری خوشه را تعریف و لحاظ می‌کنیم. علاوه بر این، تمام پارامترهای مهم و اطلاعات گره‌های حسگر، به منظور انتخاب بهینه سرخوشه‌ها به گونه‌ای که مصرف انرژی در گره‌ها کاهش یابد، در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین، عمده نوآوری‌های این مقاله را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد.

- (1) تعریف پارامترهای توازن بار گره‌های شبکه
- (2) پیشنهاد شاخص پایداری خوشه برای افزایش طول عمر شبکه
- (3) یک روش خوشه‌بندی با استفاده از تاپسیس فازی^۷، برای

^۴ Zoning^۵ Clustering^۶ Cluster head^۷ Fuzzy TOPSIS^۱ Wireless sensor networks^۲ Sink^۳ Life time

افزایش طول عمر شبکه

ساختار بقیه این مقاله به این صورت است که بخش دوم به‌مرور سابقه تحقیق اختصاص دارد. در بخش سوم روش پیشنهادی با جزئیات توصیف می‌شود. نتایج ارزیابی‌های روش پیشنهادی، شامل مقایسه با روش‌های دیگر، در بخش چهارم ارائه می‌شوند و در نهایت، در بخش پنجم، نتیجه‌گیری انجام می‌گردد.

۲. پژوهش‌های پیشین

روش‌های مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر به سه دسته روش‌های چرخه‌ی وظایف^۱، روش‌های داده‌گرا و روش‌های مبتنی بر قابلیت تحرک، تقسیم می‌شوند. روش‌های چرخه‌ی وظایف شامل خوشه‌بندی، کنترل همبندی به‌صورت اتصال گرا و بی‌اتصال و مدیریت توان (پروتکل‌های خواب-بیدار و پروتکل‌های MAC با انرژی پایین) می‌باشند [1]. روش‌های داده‌گرا، سعی در کاهش میزان داده دارند که خود شامل پیش‌بینی داده، پردازش درون‌شبکه‌ای و فشرده‌سازی داده‌ها می‌باشند. فن‌های روش‌های داده‌گرا برای کسب و پردازش داده، شامل نمونه‌برداری مدل گرا و سلسله‌مراتبی است [2]. روش‌های مبتنی بر قابلیت تحرک، از به‌کارگیری برنامه‌ریزی گره‌های ارسال‌کننده میانی متحرک و چاهک متحرک برای مدیریت انرژی در انتقال، انتشار و جمع‌آوری داده استفاده می‌کنند [3].

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم روش‌های مسیریابی و خوشه‌بندی به‌صورت متمرکز و یا توزیع‌شده طرح می‌شوند که هرکدام مزایا و معایبی دارند. از جنبه‌های مهم الگوریتم‌های خوشه‌بندی می‌توان به تجمیع داده^۲، خوشه‌های پویا، همپوشانی خوشه‌ها، روش انتخاب سرخوشه، اندازه خوشه و امنیت، اشاره نمود [4-6]. نویسندگان در [5]، یک روش خوشه‌بندی با استفاده از تجمیع داده‌ها و استقرار چاهک متحرک در شبکه ارائه داده‌اند که از چاهک متحرک در جمع‌آوری داده‌ها بهره می‌گیرد. در این روش، فضای شبکه به بلوک‌هایی تقسیم می‌شود که در هر بلوک، یک چاهک متحرک در یک مسیر تعیین‌شده بین سرخوشه‌ها گردش و اقدام به دریافت داده‌ها از سرخوشه‌ها می‌کند.

در [6] یک روش خوشه‌بندی توزیع‌شده تحت عنوان HEEL ارائه‌شده است که عمل انتخاب سرخوشه به‌صورت توزیع‌شده انجام می‌شود، لذا با حذف پیام‌های کنترلی اضافی ناشی از انتخاب سرخوشه مصرف انرژی و سربار^۳ پیام‌های کنترلی را کاهش داده است. در [7] یک روش خوشه‌بندی با استفاده از روش تراکم ذرات^۴ و بهره‌گیری از چاهک متحرک ارائه‌شده است. در الگوریتم تراکم ذرات استفاده‌شده، متغیرهای انرژی باقیمانده و

مکان گره به‌عنوان پارامترهای اولیه برای انتخاب سرخوشه استفاده می‌شود. در [10]، یک پروتکل مسیریابی با استفاده از خوشه‌بندی ارائه‌شده است که با استفاده از قطعه‌بندی شبکه و معیار فاصله، باعث مصرف متعادل انرژی می‌شود. در این طرح، از راهکارهای زمان‌بندی برای انتخاب سرخوشه استفاده‌شده است. برای انتخاب مسیر، انرژی گره‌ها، فاصله از ایستگاه پایه^۵ و درجه اتصال گره‌ها لحاظ شده است تا مصرف انرژی متعادل و تا حد ممکن، کم باشد.

علاوه بر موارد فوق، روش‌هایی ترکیبی نیز برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه‌ها، طرح‌شده‌اند. فن‌های جستجوی هارمونی^۶ [15]، کدگذاری و زمان‌بندی [16]، پیش-بینی وضعیت گره‌ها [17]، یادگیری ماشین^۷ [18]، منطق فازی [19]، لبه‌ها^۸ و اتصالات [20] و تجمیع داده [21] در ترکیب با خوشه‌بندی، برای طرح راهکاری در راستای افزایش طول عمر، به کار گرفته‌شده‌اند. در همه روش‌های مذکور، الگوریتم‌ها با استفاده از فن‌های ذکرشده و تقسیم ناحیه گره‌های حسگر، امکان مدیریت درون‌گروهی را فراهم می‌آورند. بنابراین، بهینه‌سازی به‌طور جزئی در هر گروه انجام می‌گیرد و این خود، موجب کارایی بالاتر می‌گردد. از طرفی، در تجمیع داده مبتنی بر خوشه‌بندی و درخت، ایستگاه پایه در ابتدا، تعدادی خوشه ثابت ایجاد می‌کند [22و23]. این خوشه‌ها قابل‌تغییر نیستند و در هر دور تنها سرخوشه‌ها تغییر می‌کنند. پس از انتخاب سرخوشه‌ها در هر دور، بین سرخوشه‌ها درخت پوشای مینی‌مم ایجاد می‌گردد.

در روش‌هایی، معماری‌ها و نیز همبندی‌هایی برای خوشه‌ها به‌منظور بهینه‌سازی طول عمر گره‌ها و شبکه، ارائه‌شده است. این معماری‌ها و همبندی‌ها، عملکرد آگاه از انرژی را در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، تقویت می‌کنند. در [24] برای جلوگیری از تنزل زودرس سطح انرژی سرخوشه‌های نزدیک به ایستگاه پایه، اندازه خوشه‌ها بر اساس پارامترهایی نظیر فاصله سرخوشه از ایستگاه پایه، بار گره سرخوشه و انرژی باقیمانده در سرخوشه محاسبه می‌شود. علاوه بر این پارامترها، در [25]، قابلیت حرکت نیز برای گره‌ها درگرفته شده است. در نتیجه، نزدیک‌ترین سرخوشه به ایستگاه پایه دارای سربار ارتباطی درون خوشه‌ای کم و سربار ارتباطی بین خوشه‌ای بالا خواهد بود. این روش‌ها به صورتی که گفته شد، یک توازن نسبی برای بارکاری در خوشه‌ها ایجاد می‌کنند و موجب افزایش طول عمر در شبکه می‌شوند. این الگوریتم‌ها، توسعه‌یافته الگوریتم‌های ارائه‌شده در روش‌های گذشته می‌باشند که سربار عملیاتی در آن‌ها نسبت به روش‌های اصلی کاهش‌یافته و میزان بهره‌وری^۹ افزایش پیدا کرده است. با مدیریت پروتکل‌های لایه کاربرد در [26]، پروتکل‌های

^۵ Base station

^۶ Harmony search

^۷ Machine learning

^۸ Edge

^۹ Performance

^۱ Duty cycle

^۲ Aggregation

^۳ Overhead

^۴ PSO

برای انتخاب سرخوشه‌ها، گره‌هایی که انرژی باقیمانده آن‌ها بیشتر از میانگین انرژی موجود در شبکه است، به عنوان سرخوشه‌های احتمالی انتخاب می‌شوند. سپس، مشخصات آن‌ها شامل انرژی باقیمانده، درجه اتصال گره، مرکزیت گره در ناحیه، مسافت تا ایستگاه پایه (چاهک) و نیز شاخص میزان پایداری، به عنوان ورودی به فرایند تاپسیس فازی داده می‌شوند تا بهترین ترکیب سرخوشه‌ها توسط این فرایند، حاصل شود. شاخص میزان پایداری خوشه نشان‌دهنده تعداد گره‌هایی است که با چینش جاری خوشه با کاندیدای سرخوشه، در آستانه مرگ قرار نمی‌گیرند. میزان پایداری خوشه حاصل از انتصاب یک گره به عنوان سرخوشه از رابطه (1) محاسبه می‌شود:

$$S(i) = \sum_{j=1}^{|N_i|} v(j) \quad (1)$$

$$v(j) = \begin{cases} 1 & \Delta(j) > 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

$$\Delta(j) = E_r(j) - (h * E_c(j)) \quad (3)$$

$E_r(j)$ مقدار انرژی باقیمانده گره j و $E_c(j)$ میزان انرژی مصرفی گره با توجه به نقش آن است. پارامتر h نیز یک ثابت است و تضمین می‌نماید که گره مذکور، انرژی لازم برای h دور بعدی را دارد. مرکزیت سرخوشه در خوشه، بر مصرف انرژی گره‌های خوشه مؤثر است و فاصله بین سرخوشه و چاهک تعیین‌کننده انرژی مصرفی گره سرخوشه است. مجموعه شاخص‌های مذکور، در روش خوشه‌بندی پیشنهادی لحاظ شده و به تاپسیس فازی وارد می‌شوند. در ادامه، روش تعیین گره‌های سرخوشه به صورتی چندهدفه، با استفاده از تاپسیس فازی، با جزئیات شرح داده می‌شود. شکل 1 فلوچارت روش پیشنهادی را به‌طور کلی نشان می‌دهد.

1- تشکیل ماتریس تاپسیس: برای تشکیل ماتریس، به هر کاندیدای سرخوشه شدن بر اساس شاخص‌های تعریف‌شده در بالا، امتیازی نسبت داده می‌شود که عناصر ماتریس را تشکیل می‌دهند.

$$A = \begin{bmatrix} A_1 & \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \tilde{x}_{13} \\ A_2 & \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \tilde{x}_{23} \\ A_3 & \tilde{x}_{31} & \tilde{x}_{32} & \tilde{x}_{33} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_m & \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \tilde{x}_{m3} \end{bmatrix} \quad (4)$$

۲- نرمال‌سازی ماتریس تاپسیس: در این مرحله، ماتریس تصمیم تشکیل‌شده، نرمال می‌شود. برای نرمال‌سازی مقادیر، از روش برداری استفاده می‌شود (رابطه 5).

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_1^m x_{ij}^2}} \quad (5)$$

۳- تشکیل ماتریس تاپسیس نرمال وزن‌دار: در این مرحله، بر اساس وزن شاخص‌های ورودی، ماتریس نرمال وزن‌دار تشکیل

دسترسی به کانال در [27] و کنترل ازدحام در [28]، بارکاری تعریف‌شده برای شبکه، در سطوح شبکه توزیع و متعادل می‌گردد. لذا، این روش‌ها، حسب پارامترهای کیفیت سرویس^۱، در ابتدا متوسط مصرف انرژی در کاربرد تعریف‌شده در شبکه را کاهش می‌دهند و علاوه بر آن، به دلیل نظارتی که بر پروتکل‌های مذکور دارند، موجب کاهش ارسال‌های مجدد بسته‌های داده و نیز ارسال بسته‌های کنترلی برای اصلاح خطاها، می‌شوند. از این‌رو، از اتلاف انرژی پیشگیری می‌کنند و لذا، طول عمر شبکه را افزایش می‌دهند. در جدول 1، مزایا و معایب روش‌های خوشه‌بندی که در این بخش ذکر شدند، خلاصه‌شده‌اند.

متفاوت با روش‌های قبل، در روش خوشه‌بندی پیشنهادی در این مقاله، با تعریف و پیشنهاد شاخصی جدید تحت عنوان شاخص پایداری^۲ خوشه، الگوریتمی بر اساس تاپسیس فازی ارائه می‌شود که با متوازن‌سازی بارکاری گره‌ها، طول عمر شبکه را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، تمام پارامترهای مهم و اطلاعات گره‌های حسگر، از قبیل انرژی سرخوشه و گره‌های خوشه، پایداری خوشه و مسافت انتقال داده، به‌منظور انتخاب بهینه سرخوشه‌ها به‌گونه‌ای که مصرف انرژی در گره‌ها کاهش یابد، در نظر گرفته می‌شوند.

3- روش پیشنهادی

در این بخش، ابتدا توصیفی کلی از روش پیشنهادی ارائه می‌گردد و سپس مراحل آن با جزئیات شرح داده می‌شود. روش پیشنهادی، به‌صورت دومارحله‌ای طرح می‌شود. دلیل این موضوع این است که گاهی اوقات فن‌های بهینه‌سازی ممکن است قبل از حصول پاسخ‌های بهینه، به همگرایی زود هنگام ختم شوند؛ برای جلوگیری از چنین مشکلی، انتخاب سرخوشه‌های بهینه، در دو مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول، شبکه حسب چگالی گره‌ها که به‌صورت تصادفی در ناحیه توزیع‌شده‌اند، ناحیه بندی می‌شود؛ در مرحله بعد، با به‌کارگیری رویه تاپسیس فازی، انتخاب بهینه‌سازی شده گره‌های سرخوشه صورت می‌گیرد.

تاپسیس فازی، روشی برای مسائل تصمیم‌گیری^۳ چند معیاری است. در منطق تاپسیس، در ابتدا، پاسخ بهینه تعریف می‌شود. پاسخ بهینه راه‌حلی است که معیارهای خروجی مطلوب را بیشینه و معیارهای مصرف منابع و سربار را، کمینه می‌کند. به‌عبارت‌دیگر، پاسخ بهینه شامل بهترین مقادیر معیارهای موردنظر است و لذا، حالت مطلوب، حالتی است که کمترین فاصله را از پاسخ بهینه دارد. در رویه تاپسیس، به‌منظور رسیدن به پاسخ بهینه، در رتبه‌بندی حالات ممکن، حالاتی که بیشترین تشابه را با پاسخ بهینه داشته باشند، رتبه بالاتری کسب می‌کنند.

¹ Quality of service

² Stability

³ Decision making

$$V^+ = \{\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+\}, \quad v_i = (\text{Max}_i \tilde{v}_{ij}) \quad (7)$$

$$V^- = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-\}, \quad v_i = (\text{Min}_i \tilde{v}_{ij}) \quad (8)$$

۵- استخراج پاسخ بهینه: در این مرحله، با توجه به حدهای بهینه مثبت و منفی، میزان نزدیکی نسبی هر حالت ممکن به پاسخ بهینه محاسبه می‌شود. به این منظور، فاصله هر کاندیدای سرخوشه شدن، از حدهای بهینه مثبت و منفی به دست می‌آید. ابتدا فاصله هر کاندیدا با حالت بهینه هر شاخص، جداگانه محاسبه می‌شود. سپس، مجموع این فواصل حساب می‌شوند (روابط 9 و 10). مقدار D (محاسبه‌شده در رابطه 11) عددی بین صفر و یک است. هر چه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، کاندیدا به پاسخ بهینه نزدیک‌تر است و لذا، کاندیدای بهتری برای سرخوشه شدن است.

می‌شود. برای هر شاخص، حسب کاربرد آن، وزنی (w_i) در نظر گرفته می‌شود و در درایه‌های مربوط به آن شاخص ضرب می‌شود (رابطه 6).

$$\tilde{V} = \begin{bmatrix} w_1 * n_{11} & w_2 * n_{12} & w_3 * n_{13} \\ w_1 * n_{21} & w_2 * n_{22} & w_3 * n_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ w_1 * n_{m1} & w_2 * n_{m2} & w_3 * n_{m3} \end{bmatrix} \quad (6)$$

۴- حدهای بهینه مثبت و منفی: مرحله بعد، محاسبه حدهای بهینه مثبت و بهینه منفی است. برای هر شاخص، یک حد بهینه مثبت و یک حد بهینه منفی حساب می‌شود. برای شاخص‌هایی که بار مثبت دارند، حد بهینه مثبت، بیشترین مقدار آن پارامتر است و حد بهینه منفی، کمترین مقدار آن شاخص است. برای شاخص‌هایی که بار منفی دارند (مانند فاصله)، حد بهینه مثبت، کمترین مقدار آن پارامتر است و حد بهینه منفی، بیشترین مقدار آن پارامتر است (رابطه‌های 7 و 8).

جدول (1). مرور مزایا و معایب روش‌های خوشه‌بندی مرتبط پیشین

معایب	مزایا	مرجع روش
- زمان اجرا نسبتاً بالا - نامناسب برای کاربردهای بلادرنگ	- کاهش مصرف انرژی و سربار انتقال داده - اجرا به صورت توزیع شده	[2]
افزایش سربار همگام‌سازی و کنترل حالات خواب و فعال گره‌ها	کاهش مصرف انرژی	[4]
- پیچیدگی الگوریتم بالا - هزینه بالای پیاده‌سازی به دلیل تعداد چاهک‌های متحرک در شبکه	- کاهش مصرف انرژی - قابلیت ناحیه بندی و تجمیع داده - مقیاس پذیری بالا و مسیریابی کارآمد	[5]
- زمان اجرا بالا - نامناسب برای کاربردهای بلادرنگ - توپولوژی و همبندی استاتیک	- بهبود طول عمر شبکه - عدم نیاز به تکرار خوشه‌بندی در هر دور - الگوریتم چند سطحی و توزیع شده	[6]
نیازمند به مسیریابی چاهک متحرک متناسب با خوشه‌های تشکیل شده در هر بار خوشه‌بندی	- سربار پایین - استفاده از پارامتر مکان گره	[7]
افزایش سربار همگام‌سازی برای فعال و غیرفعال سازی گره‌ها	- قطعه‌بندی شبکه و مقیاس‌پذیری - مسیریابی متناسب با خوشه‌بندی ارائه شده	[10]
- پیچیدگی الگوریتم بالا - زمان اجرا بالا - نامناسب برای کاربردهای بلادرنگ	- ترکیب خوشه‌بندی با الگوریتم جستجوی هارمونی - انتخاب بهینه سرخوشه‌ها - مصرف بهتر انرژی	[15]
- سربار عملیاتی انتقال داد بالا - زمان اجرای طولانی برای الگوریتم و تولید بسته‌های کنترلی زیاد	- کدگذاری به صورت ترکیبی با زمان‌بندی فعال و غیرفعال سازی گره‌ها - افزایش طول عمر گره‌ها	[16]
- نیاز به حالت قابل پیش‌بینی و نسبتاً ایستا برای ترافیک شبکه - مسیریابی همیشه کارا نیست	- پیش‌بینی وضعیت کاری گره‌ها و توانایی تقسیم کار بر حسب آن - بهینه‌سازی طول عمر گره‌ها	[17]
- تأخیر نسبتاً بالا در انتقال داده - زمان اجرای الگوریتم بالا و سربار عملیاتی بالا	- ترکیب یادگیری ماشین با خوشه‌بندی - بهینه‌سازی مصرف انرژی و مسیریابی متناسب	[18]
- سربار عملیاتی بالا - نامناسب برای کاربردهای بلادرنگ و تأخیر بالا	- استفاده از منطق فازی در انتخاب سرخوشه‌ها - به کارگیری و ترکیب پارامترهای متنوع ورودی در تصمیم‌گیری	[19]
عدم تغییر وضعیت کیفیت گره‌ها برای اجرای الگوریتم	- در نظر گرفتن حفظ اتصالات و پیوندهای بین گره‌ها در بهینه‌سازی مصرف انرژی - مسیریابی کارا و افزایش طول عمر گره‌ها، پیشگیری از ایجاد حفره	[20]
- اجرا به صورت مرکزی - سربار انتقال داده بالا و مقیاس‌پذیری پایین	- تجمیع حداکثری داده، تشکیل درخت پوشای کمینه بین سرخوشه‌ها - مسیریابی کارا	[21]
- موقعیت ایستگاه پایه و گره‌ها ثابت - پارامترها استاتیک می‌باشند و مسیریابی بعضی اوقات بهینه نیست.	- اجرای توزیع شده، امکان پردازش و مدیریت درون گروهی - کاهش انرژی مصرفی گره‌ها	[22]
- مقیاس‌پذیری پایین - حفظ اتصالات و پیوندهای بین گره‌ها در نظر گرفته نشده است.	- انتقال داده یا یک یا دو گام - مدیریت درون گروهی و محلی	[24]

جدول (۱). مرور مزایا و معایب روش‌های خوشه‌بندی مرتبط پیشین

معایب	مزایا	مرجع روش
مسیریابی کارا نیست.	مصرف کمتر انرژی در گره‌های خوشه‌ها	
افزایش مصرف انرژی با متحرک‌سازی گره‌ها	استفاده از گره‌های متحرک برای انتقال بارکاری و کاهش بارکاری گره-های ثابت	[25]
سربار بین خوشه‌ای و انتقال داده برای همگام‌سازی	تلاش در متعادل‌سازی بارکاری، جلوگیری از ایجاد حفره	
افزایش زمان اجرا	مناسب‌سازی پروتکل‌های لایه کاربرد با آتاماتای یادگیر	[26]
نامناسب برای کاربردهای بلادرنگ	بهینه‌سازی مصرف انرژی در لایه‌های پایین‌تر	
ایجاد پیچیدگی الگوریتمی بیشتر در لایه کاربرد	متعادل‌سازی بار شبکه در لایه کاربرد	
مورد استفاده فقط در شبکه‌های کوتاه برد	مدل‌سازی تکاملی دو لایه کاربرد	[27]
مسیریابی همواره کارا نیست.	بهینه‌سازی مصرف انرژی در مدل ارائه‌شده	
هزینه گره‌های عامل متحرک در نواحی شبکه	کنترل ازدحام و متعادل‌سازی بارکاری و افزایش طول عمر گره‌ها و شبکه	[28]
نیاز نسبتاً بالا به سخت‌افزار در هر گره	در نظر گرفتن پارامترهای کیفیت سرویس در اجرای الگوریتم	
	مناسب برای شبکه‌های چندرسانه‌ای و شامل داده‌های گوناگون	

بالا، امتیازی نسبت داده می‌شود که عناصر ماتریس را تشکیل می‌دهند.

$$A = \begin{bmatrix} A_1 & \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \tilde{x}_{13} \\ A_2 & \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \tilde{x}_{23} \\ A_3 & \tilde{x}_{31} & \tilde{x}_{32} & \tilde{x}_{33} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_m & \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \tilde{x}_{m3} \end{bmatrix} \quad (4)$$

۲- نرمال‌سازی ماتریس تاپسیس: در این مرحله، ماتریس تصمیم تشکیل‌شده، نرمال می‌شود. برای نرمال‌سازی مقادیر، از روش برداری استفاده می‌شود (رابطه ۵).

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_1^m x_{ij}^2}} \quad (5)$$

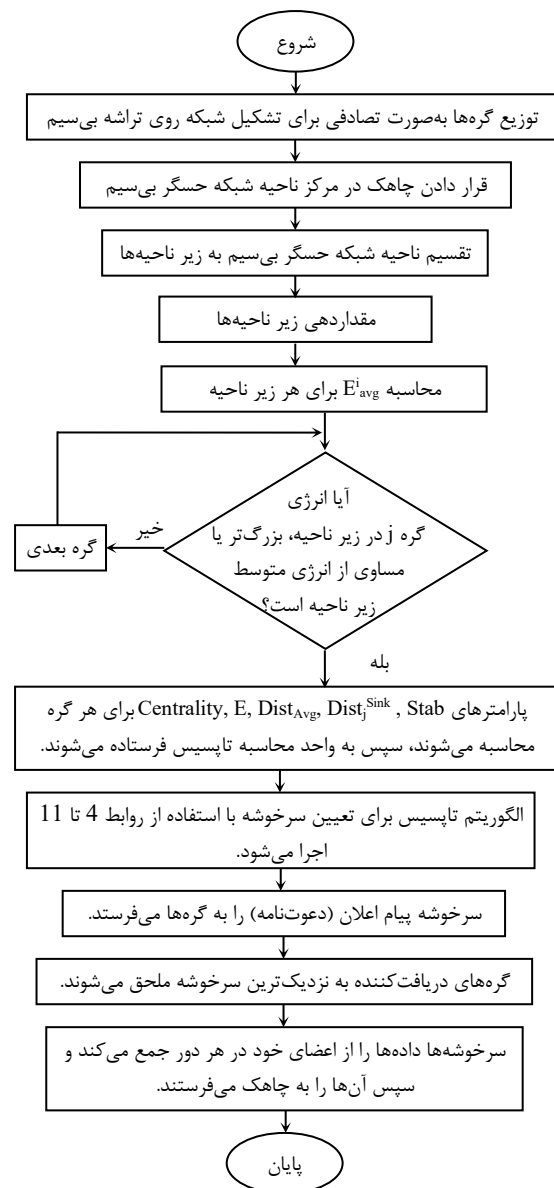
۳- تشکیل ماتریس تاپسیس نرمال وزن‌دار: در این مرحله، بر اساس وزن شاخص‌های ورودی، ماتریس نرمال وزن‌دار تشکیل می‌شود. برای هر شاخص، حسب کاربرد آن، وزنی (w_i) در نظر گرفته می‌شود و در درایه‌های مربوط به آن شاخص ضرب می‌شود (رابطه ۶).

$$\tilde{V} = \begin{bmatrix} w_1 * n_{11} & w_2 * n_{12} & w_3 * n_{13} \\ w_1 * n_{21} & w_2 * n_{22} & w_3 * n_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ w_1 * n_{m1} & w_2 * n_{m2} & w_3 * n_{m3} \end{bmatrix} \quad (6)$$

۴- حدهای بهینه مثبت و منفی: مرحله بعد، محاسبه حدهای بهینه مثبت و بهینه منفی است. برای هر شاخص، یک حد بهینه مثبت و یک حد بهینه منفی حساب می‌شود. برای شاخص‌هایی که بار مثبت دارند، حد بهینه مثبت، بیشترین مقدار آن پارامتر است و حد بهینه منفی، کمترین مقدار آن شاخص است. برای شاخص‌هایی که بار منفی دارند (مانند فاصله)، حد بهینه مثبت، کمترین مقدار آن پارامتر است و حد بهینه منفی، بیشترین مقدار آن پارامتر است (رابطه‌های ۷ و ۸).

$$V^+ = \{\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+\}, \quad v_i = (\max_i \tilde{v}_{ij}) \quad (7)$$

$$V^- = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-\}, \quad v_i = (\min_i \tilde{v}_{ij}) \quad (8)$$



شکل (۱). فلوچارت روش پیشنهادی

۱- تشکیل ماتریس تاپسیس: برای تشکیل ماتریس، به هر کاندیدای سرخوشه شدن بر اساس شاخص‌های تعریف‌شده در

در پیاده‌سازی روش پیشنهادی، از مدل ارائه‌شده در [31] برای انتقال داده و مصرف انرژی مربوط به آن، استفاده‌شده است. بر اساس این مدل، مقدار انرژی مصرفی برای ارسال و دریافت 1 بیت داده در مسافت d (فاصله فرستنده تا گیرنده) را به ترتیب با $E_{Tx}(l,d)$ و $E_{Rx}(l,d)$ نمایش می‌دهیم که با روابط (12) و (13) محاسبه می‌گردند.

$$E_{Tx}(l,d) = \begin{cases} l \cdot E_{elec} + l \cdot \epsilon_{fs} \cdot d^2 & d < d_{th} \\ l \cdot E_{elec} + l \cdot \epsilon_{mp} \cdot d^4 & d \geq d_{th} \end{cases} \quad (12)$$

$$E_{Rx}(l,d) = l \cdot E_{elec} \quad (13)$$

در این رابطه، E_{elec} انرژی مصرفی به‌وسیله فرستنده/گیرنده برای ارسال یا دریافت یک بیت داده است. ϵ_{fs} انرژی موردنیاز برای تقویت یک بیت در فاصله کمتر از آستانه (d_{th}) و ϵ_{mp} انرژی برای تقویت یک بیت در فاصله بیشتر از فاصله آستانه می‌باشند.

جدول (2). پارامترهای پیاده‌سازی

پارامتر	مقدار
سطح شبکه	200×200 m ²
تعداد گره‌ها	100
طول برد ارتباطی (Rc)	40 m
مکان ایستگاه پایه	(100 و 100)
E_{elec}	50 nJ/bit
ϵ_{fs}	10 pJ/bit
ϵ_{mp}	0/0013 pJ/bit
فاصله آستانه - d_{th}	87 m
انرژی اولیه هر گره	0/1 J
اندازه بسته داده	500 B
اندازه بسته کنترلی	25 B

در اجرای روش، ابتدا، با روش پیشنهادی، خوشه‌بندی در شبکه انجام می‌شود و سپس، در خوشه‌ها، داده‌های رخدادها در دوره‌های پی‌درپی توسط سرخوشه‌ها از گره‌های عضو خوشه جمع‌آوری و به چاهک ارسال می‌گردد. ما این روند را برای 50 دور در پیاده‌سازی، در نظر گرفتیم و عملکرد روش پیشنهادی را، از نظر میزان انرژی باقیمانده، میزان مصرف انرژی، تعداد گره‌های زنده و نیز، میزان توازن سطح انرژی در گره‌ها، بررسی و با روش‌های دیگر مقایسه نمودیم. ارزیابی، با اجرای روش پیشنهادی با مقادیر مختلف برای تعداد خوشه‌ها انجام شد. در جدول 3 میزان انرژی باقیمانده در شبکه با تعداد خوشه‌های مختلف، در دوره‌های کاری برای روش‌های مورد مقایسه، ثبت‌شده است. همان‌گونه که جدول حاکی است، انرژی باقیمانده شبکه در روش پیشنهادی با هر تعداد خوشه، در همه دوره‌ها، نسبت به روش‌های دیگر، بیشتر است.

علاوه بر این، در شکل 2 میزان انرژی باقیمانده گره‌ها در روش‌های مختلف مورد مقایسه قرارگرفته‌اند؛ این شکل نشان می‌دهد که همواره، کاهش سطح انرژی شبکه در دوره‌های پی‌درپی،

استخراج پاسخ بهینه: در این مرحله، با توجه به حدهای بهینه مثبت و منفی، میزان نزدیکی نسبی هر حالت ممکن به پاسخ بهینه محاسبه می‌شود. به این منظور، فاصله هر کاندیدای سرخوشه شدن، از حدهای بهینه مثبت و منفی به دست می‌آید. ابتدا فاصله هر کاندیدا باحالت بهینه هر شاخص، جداگانه محاسبه می‌شود. سپس، مجموع این فواصل حساب می‌شوند (روابط 9 و 10). مقدار D (محاسبه‌شده در رابطه 11) عددی بین صفر و یک است. هر چه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، کاندیدا به پاسخ بهینه نزدیک‌تر است و لذا، کاندیدای بهتری برای سرخوشه شدن است.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad (9)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (10)$$

$$D_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (11)$$

پس، سرخوشه‌های انتخاب‌شده، اقدام به گرفتن عضو و تشکیل خوشه‌ها می‌کنند. خوشه‌ها چنان شکل می‌گیرند که ترکیب اعضای خوشه به‌گونه‌ای باشد که مسافت انتقال داده و در نتیجه مصرف انرژی گره‌های عضو خوشه، کمینه باشد و از طرف دیگر، شرایطی مهیا شود که گره‌ها تا زمانی متصدی نقش سرخوشه باشند که ادامه کار باعث کاهش شدید میزان انرژی گره نشود و نیز، مصرف انرژی گره‌ها در شبکه، متوازن باشد. بدین ترتیب خواهیم توانست با توازن بارکاری گره‌ها، مرگ گره‌ها را به تعویق انداخته و طول عمر شبکه را افزایش دهیم. گره‌های حسگری که از چند گره سرخوشه پیام دریافت کنند، بر اساس توان موج دریافتی بهترین سرخوشه متناظر با خود را انتخاب می‌کنند؛ به این صورت که به سرخوشه‌ای که موج با توان بیشتری از آن دریافت می‌کنند، می‌پیوندند.

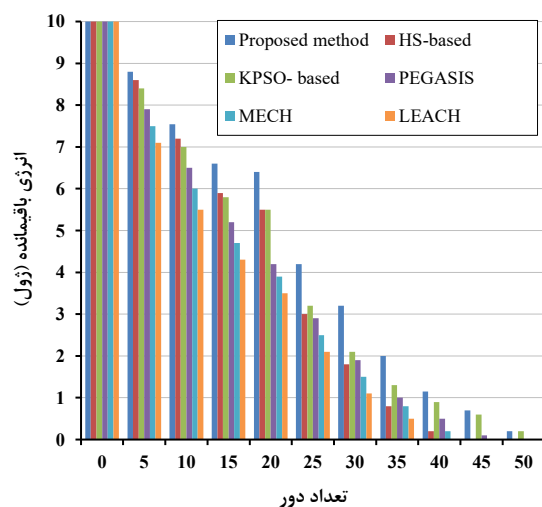
4. ارزیابی روش پیشنهادی

به‌منظور ارزیابی کارایی و مقایسه نتایج روش پیشنهادی با روش‌های دیگر، روش پیشنهادی در محیط نرم‌افزار متلب 9.13 R2022b بر روی یک کامپیوتر با پردازنده Intel Core i7 پیاده‌سازی شد. نتایج حاصل از روش پیشنهادی با نتایج ارائه‌شده توسط روش‌های [7، 15 و 29 و 30] مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش پیشنهادی، پس از سی بار اجرای مستقل الگوریتم و میانگین‌گیری از خروجی‌های آن‌ها، به دست آمدند و در ارزیابی‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. در جدول 2، پارامترها و فرضیات مورد استفاده در پیاده‌سازی بیان شده‌اند.

در روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر با آهنگ پایین‌تری، صورت می‌گیرد به‌طوری‌که نسبت به روش‌های HS-based, KPSO-based, PEGASIS, MECH, LEACH، به ترتیب، به‌طور متوسط 20، 17، 13، 8 و 4 درصد انرژی باقی‌مانده در گره‌ها توسط روش پیشنهادی افزایش یافته است.

جدول (3). میزان انرژی باقیمانده گره‌ها در دوره‌های پی‌درپی برای روش‌های مورد مقایسه با تعداد مختلف خوشه

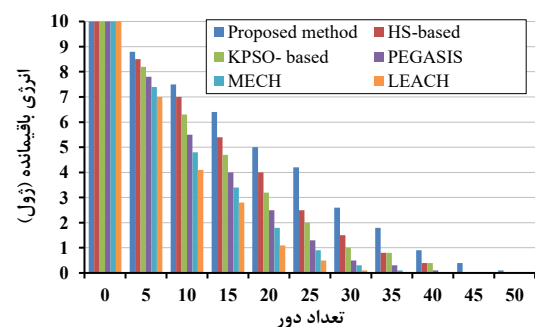
تعداد خوشه	3						4						5						6					
تعداد دور	Proposed method	HS-based	KPSO- based	PEGASIS	MECH	LEACH	Proposed method	HS-based	KPSO- based	PEGASIS	MECH	LEACH	Proposed method	HS-based	KPSO- based	PEGASIS	MECH	LEACH	Proposed method	HS-based	KPSO- based	PEGASIS	MECH	LEACH
0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5	8/8	8/5	8/2	7/8	7/4	7	8/8	8/6	8/4	7/9	7/5	7/1	8/9	8/5	8/2	7/7	7/3	6/8	8/9	8/6	8/2	7/6	7/1	6/8
10	7/5	7	6/3	5/5	4/8	4/1	7/54	7/2	7	6/5	6	5/5	7/9	7/1	6/8	6	5/5	5	7/7	7/2	7	6/5	6/2	5/9
15	6/4	5/4	4/7	4	3/4	2/8	6/6	5/9	5/8	5/2	4/7	4/3	7/7	5/9	5/3	4/9	4/3	3/9	6/8	5/8	5/75	5/2	4/9	4/5
20	5	4	3/2	2/5	1/8	1/1	6/4	5/5	5/5	4/2	3/9	3/5	5/6	4/2	4	3/5	3/1	2/8	5/5	4/2	4/2	3/9	3/5	3/2
25	4/2	2/5	2	1/3	0/9	0/5	4/2	3	3/2	2/9	2/5	2/1	4/5	2/9	3	2/6	2/2	1/9	4/5	2/8	3	2/9	2/5	2/2
30	2/6	1/5	1	0/5	0/3	0/1	3/2	1/8	2/1	1/9	1/5	1/1	3/3	1/75	2	1/6	1/3	1	3/3	1/6	2	1/6	1/1	0/8
35	1/8	0/8	0/8	0/3	0/1	0	2	0/8	1/3	1	0/8	0/5	2/2	0/65	1/2	0/8	0/5	0/2	2/4	0/3	2/1	1	0/5	0/3
40	0/9	0/4	0/4	0/1	0	0	1/15	0/2	0/9	0/5	0/2	0	1/2	0	0/8	0/5	0/2	0	1/3	0	0/7	0/4	0/2	0/1
45	0/4	0	.	0	0	0	0/7	0	0/6	0/1	0	0	0/6	0	0/3	0/1	0	0	0/5	0	0/2	0/1	0	0
50	0/1	0	0	0	0	0	0/2	0	0/2	0	0	0	0/1	0	0	0	0	0	0/1	0	0	0	0	0



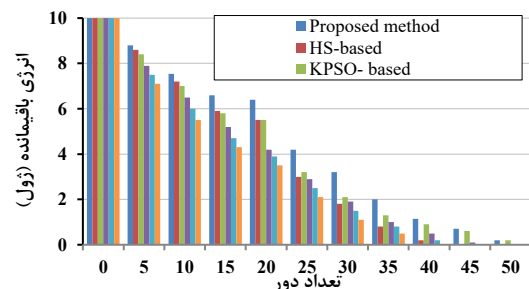
(د)

شکل (2). میزان انرژی باقیمانده گره‌ها در دوره‌های پی‌درپی برای روش‌های مورد مقایسه با الف (3 خوشه، ب) 4 خوشه، ج) 5 خوشه، د) 6 خوشه

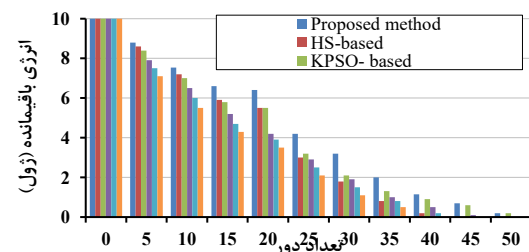
در جدول 4 میزان انرژی مصرف‌شده در شبکه با تعداد خوشه-های مختلف، در دوره‌های کاری برای روش‌های مورد مقایسه، ثبت‌شده است. همان‌گونه که داده‌های جدول نشان می‌دهند، انرژی مصرفی شبکه در روش پیشنهادی با هر تعداد خوشه، در همه دوره‌ها، نسبت به روش‌های دیگر، کمتر است.



(الف)



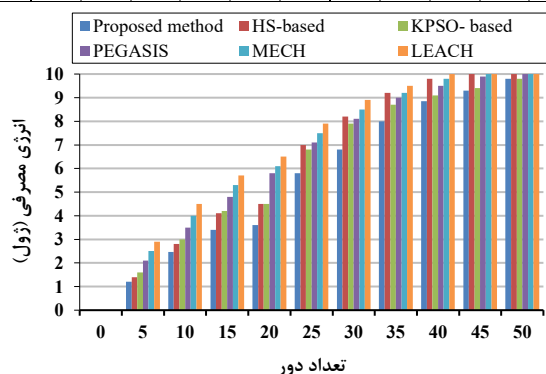
(ب)



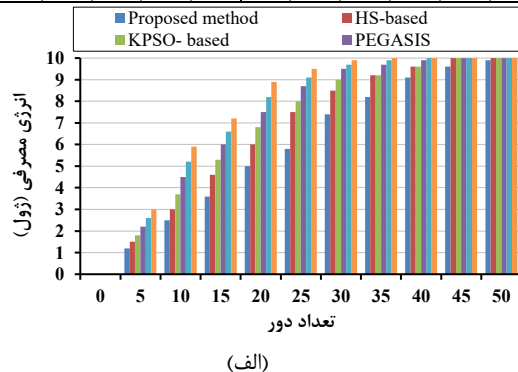
(ج)

جدول (4). میزان انرژی مصرفی گره‌ها در دوره‌های پی‌درپی برای روش‌های مورد مقایسه با تعداد مختلف خوشه

تعداد خوشه	3						4						5						6					
تعداد دور	Proposed method	HS-based	KPSO-based	PEGASIS	MECH	LEACH	Proposed method	HS-based	KPSO-based	PEGASIS	MECH	LEACH	Proposed method	HS-based	KPSO-based	PEGASIS	MECH	LEACH	Proposed method	HS-based	KPSO-based	PEGASIS	MECH	LEACH
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1/2	1/5	1/8	2/2	2/6	3	1/2	1/4	1/6	2/1	2/5	2/9	1/1	1/5	1/8	2/3	2/7	3/2	1/1	1/4	1/8	2/4	2/9	3/2
10	2/5	3	3/7	4/5	5/2	5/9	2/46	2/8	3	3/5	4	4/5	2/1	2/9	3/2	4	4/5	5	2/3	2/8	3	3/5	3/8	4/1
15	3/6	4/6	5/3	6	6/6	7/2	3/4	4/1	4/2	4/8	5/3	5/7	2/3	4/1	4/7	5/1	5/7	6/1	3/2	4/2	4/25	4/8	5/1	5/5
20	5	6	6/8	7/5	8/2	8/9	3/6	4/5	4/5	5/8	6/1	6/5	4/4	5/8	6	6/5	6/9	7/2	4/5	5/8	5/8	6/1	6/5	6/8
25	5/8	7/5	8	8/7	9/1	9/5	5/8	7	6/8	7/1	7/5	7/9	5/5	7/1	7	7/4	7/8	8/1	5/5	7/2	7	7/1	7/5	7/8
30	7/4	8/5	9	9/5	9/7	9/9	6/8	8/2	7/9	8/1	8/5	8/9	6/7	8/25	8	8/4	8/7	9	6/7	8/4	8	8/4	8/9	9/2
35	8/2	9/2	9/2	9/7	9/9	10	8	9/2	8/7	9	9/2	9/5	7/8	9/35	8/8	9/2	9/5	9/8	7/6	9/7	7/9	9	9/5	9/7
40	9/1	9/6	9/6	9/9	10	10	8/85	9/8	9/1	9/5	9/8	10	8/8	10	9/2	9/5	9/8	10	8/7	10	9/3	9/6	9/8	9/9
45	9/6	10	10	10	10	10	9/3	10	9/4	9/9	10	10	9/4	10	9/7	9/9	10	10	9/5	10	9/8	9/9	10	10
50	9/9	10	10	10	10	10	9/8	10	9/8	10	10	10	9/9	10	10	10	10	10	9/9	10	10	10	10	10



(د)

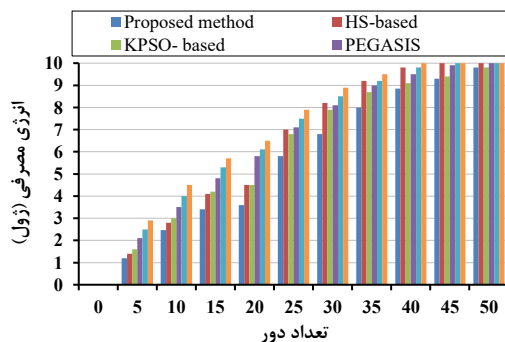


(الف)

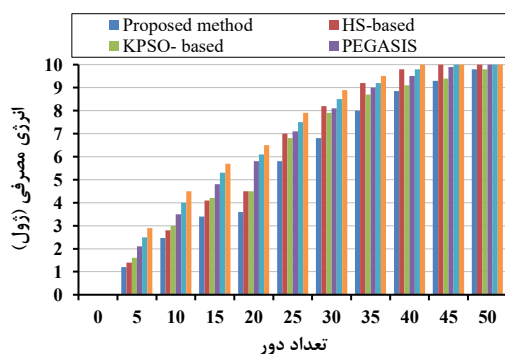
شکل (3). میزان انرژی مصرفی گره‌ها در دوره‌های پی‌درپی برای روش‌های مورد مقایسه با (الف 3 خوشه، ب 4 خوشه، ج 5 خوشه، د 6 خوشه)

انرژی مصرف‌شده در شبکه، با تعداد گوناگون خوشه‌ها، در دوره‌های مختلف، در شکل 3 مقایسه شده است. در همه روش‌ها، جمع انرژی مصرف‌شده، برحسب زمان افزایش می‌یابد. اما، در روش پیشنهادی انرژی مصرف‌شده همواره کمتر است و گره‌ها با شدت کمتری انرژی خود را از دست می‌دهند. از همین رو، طول عمر شبکه با روش پیشنهادی، بالاتر از روش‌های دیگر است. مجموع انرژی مصرفی در شبکه در دوره‌های پی‌درپی، در روش پیشنهادی به‌طور متوسط نسبت به روش‌های HS-based، KPSO-based، PEGASIS، MECH، LEACH، به ترتیب، به‌طور متوسط 8، 4، 19، 17 و 13 درصد توسط روش پیشنهادی کاهش یافته است.

در جدول 5 تعداد گره‌های زنده شبکه با تعداد خوشه‌های مختلف، در دوره‌های کاری برای روش‌های مورد مقایسه، ثبت شده است. همان‌گونه که جدول حاکی است، تعداد گره‌های زنده شبکه در روش پیشنهادی با هر تعداد خوشه، در همه دوره‌ها،



(ب)



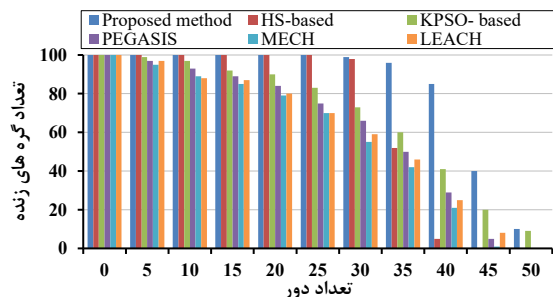
(ج)

تعداد گره‌های زنده در شبکه در دوره‌های پی‌درپی، در روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر با آهنگ پایین‌تری، صورت می‌گیرد به‌طوری‌که نسبت به روش‌های HS-based, KPSO-based, PEGASIS, MECH, LEACH، به ترتیب، به‌طور متوسط 12، 6، 4، 16 و 21 درصد تعداد گره‌های زنده در دوره‌ها توسط روش پیشنهادی افزایش یافته است. این موضوع، دلیلی بر کار شبکه با حفظ بیشترین تعداد گره زنده تا واپسین لحظات طول عمر شبکه با روش پیشنهادی است. از این‌رو، با حفظ گره‌های زنده بیشتر، میزان پوشش محیطی شبکه حسگر نیز با روش پیشنهادی، بالاتر خواهد بود.

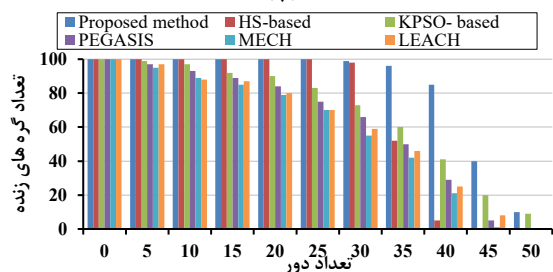
نسبت به روش‌های دیگر، بیشتر است. در شکل 4، تعداد گره‌های زنده در شبکه با تعداد مختلف خوشه، در دوره‌های مختلف مقایسه شده است. همان‌طور که در شکل مشهود است، در روش پیشنهادی، نرخ از دست دادن گره‌ها در دوره‌ها پایین‌تر است و تعداد گره‌ها تا دور بیشتری در اکثریت می‌ماند و پس از روش‌های دیگر، تعداد گره‌های زنده شروع به کاهش می‌کند. علاوه بر این، به دلیل مصرف متوازن انرژی در گره‌ها با روش پیشنهادی، تا دوره‌های زیادی، اغلب گره‌ها زنده هستند و در آخرین دوره‌ها، به دلیل همسان بودن سطح انرژی، گره‌ها بافاصله زمانی نسبتاً اندکی از یکدیگر، شروع به مردن می‌کنند و در نتیجه، با آهنگ نسبتاً بالایی، تعداد گره‌های زنده پایین می‌آید. همواره، کاهش

جدول (5). روند مردن گره‌ها در دوره‌های پی‌درپی برای روش‌های مورد مقایسه با تعداد مختلف خوشه

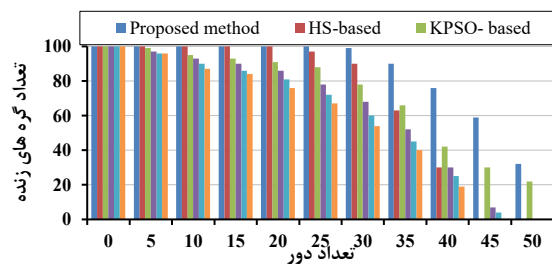
خوشه تعداد	3						4						5						6					
تعداد دور	Proposed method	HS-based	KPSO-based	PEGASIS	MECH	LEACH	Proposed method	HS-based	KPSO-based	PEGASIS	MECH	LEACH	Proposed method	HS-based	KPSO-based	PEGASIS	MECH	LEACH	Proposed method	HS-based	KPSO-based	PEGASIS	MECH	LEACH
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	100	100	99	97	96	96	100	100	99	97	95	97	100	100	99	96	95	97	100	100	100	96	95	96
10	100	100	95	93	90	87	100	100	97	93	89	88	100	100	96	95	88	88	100	100	100	94	88	86
15	100	100	93	90	86	84	100	100	92	89	85	87	100	100	91	86	82	85	100	100	99	85	80	83
20	100	100	91	86	81	76	100	100	90	84	79	80	100	100	85	82	77	79	100	100	93	80	76	78
25	100	97	88	78	72	67	100	100	83	75	70	70	100	100	79	75	69	68	100	100	88	72	68	65
30	99	90	78	68	60	54	99	98	73	66	55	59	100	96	70	65	53	60	100	100	78	63	50	55
35	90	63	66	52	45	40	96	52	60	50	42	46	98	49	52	49	40	48	99	49	50	46	38	43
40	76	30	42	30	25	19	85	5	41	29	21	25	88	0	42	27	18	28	91	0	29	24	15	22
45	59	0	30	7	4	0	40	0	20	5	1	8	48	0	21	6	0	10	67	0	12	4	0	9
50	32	0	22	0	0	0	10	0	9	0	0	0	10	0	5	0	0	0	11	0	3	0	0	0



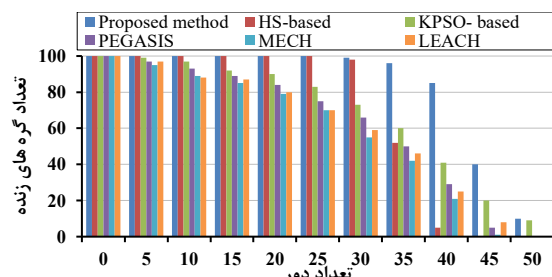
(ب)



(د)



(الف)



(ج)

شکل (4). روند مردن گره‌ها در دوره‌های پی‌درپی برای روش‌های مورد مقایسه با الف (3 خوشه، ب) 4 خوشه، ج) 5 خوشه، د) 6 خوشه نبودن مصرف انرژی، سطح انرژی کمی داشته باشند. واریانس انرژی در هر دور بیانگر تفاوت مقدار انرژی گره‌های حسگر نسبت به مقدار میانگین انرژی بین حسگرها در آن دور است. هر چه

از آنجایی که انرژی باقیمانده شبکه (شکل 2)، مجموع انرژی باقیمانده تمامی گره‌ها است، ممکن است در روشی، انرژی تعدادی از گره‌ها بالا باشد اما تعدادی دیگر از گره‌ها، به علت متوازن

زنده است؛ در روش‌های دیگر، از آنجایی که اختلاف سطح انرژی گره‌ها بالاست و حتی در دوره‌های بالا با وجود گره‌های مرده زیاد، گره‌های با سطح انرژی بالا نیز در شبکه حضور دارند، واریانس انرژی، بالاتر است.

با افزایش تعداد گره‌ها در شبکه، تعداد اعضای خوشه‌ها در شبکه بالاتر خواهد بود. در شبکه‌های حسگر، افزایش تعداد گره موجب افزایش همپوشانی گره‌ها در حس کردن محیط می‌شود. به‌طوری که بعضی نواحی توسط چندین گره به‌طور هم‌زمان پوشش داده می‌شوند و داده آن‌ها توسط گره‌های همپوشان به‌صورت تکراری جمع‌آوری می‌شود. بر این اساس، در روش پیشنهادی می‌توان عملکرد این گره‌ها را به‌صورت نوبتی و جایگزینی برنامه‌ریزی کرد. به این صورت که در هر خوشه، در ابتدای هر دور، یکی از گره‌های همپوشان، در حالت فعال و بقیه در حالت غیرفعال قرار گیرند. بنابراین، گره‌های غیرفعال در هر دور، انرژی خود را برای دوره‌های بعدی ذخیره نگاه می‌دارند و لذا طول عمر بالاتری خواهند داشت. از این رو، افزایش تعداد گره‌های شبکه موجب افزایش طول عمر شبکه خواهد بود.

واریانس مقدار انرژی باقیمانده در گره‌های شبکه در دوره‌های پی‌درپی، در روش پیشنهادی به‌طور متوسط نسبت به روش‌های HS-based, KPSO-based, PEGASIS, MECH, LEACH، به ترتیب، به‌طور متوسط 24، 38، 41، 43 و 18 درصد توسط روش پیشنهادی کاهش یافته است.

واریانس انرژی در یک روش کمتر باشد، عملکرد بهتر آن روش را از لحاظ مصرف متوازن انرژی نشان می‌دهد. در این ارزیابی، برای سنجش متوازن بودن مصرف انرژی در روش پیشنهادی و مقایسه آن با روش‌های دیگر، واریانس انرژی مورد محاسبه قرار گرفت. البته، این نکته بسیار قابل توجه است که مقایسه واریانس انرژی دو روش، تا زمانی معتبر است که هر دو روش تعداد گره‌های زنده قابل توجهی داشته باشند و نیز طول عمر هیچ‌کدام، تمام نشده باشد. بدیهی است که انرژی گره‌های مرده، در همه دوره‌های پس از مرگ، ثابت است و نسبت به یکدیگر هیچ واریانسی ندارند. در جدول 6 واریانس مقدار انرژی باقیمانده در گره‌های شبکه با تعداد خوشه‌های مختلف، در دوره‌های کاری برای روش‌های مورد مقایسه، ثبت شده است. همان‌گونه که داده‌های جدول نشان می‌دهند، واریانس انرژی گره‌های شبکه در روش پیشنهادی با هر تعداد خوشه، در همه دوره‌ها، نسبت به روش‌های دیگر، کمتر است.

در شکل 5، مقایسه واریانس انرژی باقیمانده در گره‌ها در طول زمان (دوره‌های پی‌درپی) برای تعداد خوشه‌های مختلف با روش پیشنهادی و روش‌های مورد مقایسه، انجام شده است. با توجه به نکته‌ای که درباره مدت زمان مقایسه واریانس مطرح است، تا زمانی که روش‌ها تعداد گره زنده بالایی دارند، (شکل 4)، واریانس انرژی گره‌ها در روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر پایین‌تر است. بعد از این زمان، روش پیشنهادی دارای تعداد زیادی گره

جدول (6). واریانس مقدار انرژی باقیمانده گره‌ها در دوره‌های پی‌درپی برای روش‌های مورد مقایسه با تعداد مختلف خوشه

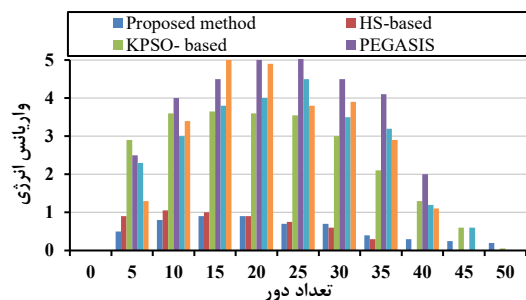
تعداد خوشه	3						4						5						6					
	Proposed method	HS-based	KPSO-based	PEGASIS	MECH	LEACH	Proposed method	HS-based	KPSO-based	PEGASIS	MECH	LEACH	Proposed method	HS-based	KPSO-based	PEGASIS	MECH	LEACH	Proposed method	HS-based	KPSO-based	PEGASIS	MECH	LEACH
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0/5	0/9	2/9	2/5	2/3	1/3	0/4	0/75	2/7	2/6	2/4	1/6	0/4	0/6	2/9	3	2/5	1/7	0/25	0/6	1/5	2/8	2/8	1/8
10	0/8	1/05	3/6	4	3	3/4	0/6	0/75	3/9	4/1	3/2	3/5	0/4	0/5	4/2	4/2	3/3	3/4	0/5	0/55	3/3	4	3/5	3/6
15	0/9	1	3/65	4/5	3/8	5	0/6	0/5	4/5	4/5	4	5	0/5	0/4	4/8	4/5	4	4/7	0/45	0/4	4/4	4/3	4/2	4/9
20	0/9	0/9	3/6	5	4	4/9	0/6	0/4	4/1	4/9	4/1	5	0/4	0/3	5	4/8	4/15	4/6	0/4	0/3	3/8	4/4	4/1	4/9
25	0/7	0/75	3/55	5/1	4/5	3/8	0/5	0/35	3/4	5	4/6	4	0/4	0/35	4	4/8	4/4	3/8	0/4	0/35	3/4	4/5	4/3	4/2
30	0/7	0/6	3	4/5	3/5	3/9	0/5	0/4	2/6	4/6	3/7	3/5	0/5	0/3	3	4/6	3/8	3/6	0/35	0/2	2/5	4/1	3/9	3/9
35	0/4	0/3	2/1	4/1	3/2	2/9	0/6	0/2	1/6	4/1	3	2/7	0/5	0/1	1/7	3/8	3/2	2/5	0/4	0/1	1/3	4	3	2/7
40	0/3	0	1/3	2	1/2	1/1	0/45	0	0/8	1/7	1/2	1	0/4	0	0/6	1/5	1/5	1	0/3	0	0/5	1/2	1/4	1/1
45	0/25	0	0/6	0	0/6	0	0/25	0	0/3	0	0/5	0	0/2	0	0/22	0	0/6	0/4	0/1	0	0/15	0	0	0/9
50	0/2	0	0/05	0	0	0	0/02	0	0/03	0	0	0	0/05	0	0/05	0	0	0	0/02	0	0/03	0	0	0

گره‌ها در خوشه‌ها، باعث مصرف متوازن انرژی در گره‌ها می‌گردد. به دلیل مصرف متوازن انرژی در گره‌ها با روش پیشنهادی، تا دوره‌های زیادی، اغلب گره‌ها زنده هستند و در آخرین دوره‌ها، به دلیل همسان بودن سطح انرژی، گره‌ها بافاصله زمانی نسبتاً اندکی از یکدیگر، شروع به مردن می‌کنند. این موضوع، دلیلی بر کار شبکه با حفظ بیشترین تعداد گره زنده تا واپسین لحظات طول عمر شبکه است. بنا بر موارد ذکرشده، روش پیشنهادی، نسبت به رویکردهای پیشین، علاوه بر برتری در افزایش طول عمر شبکه، تعداد بالایی از گره‌های شبکه را نیز تا آخر طول عمر شبکه، زنده نگاه می‌دارد. این موضوع باعث برتری این روش در افزایش کارایی پوشش محیطی شبکه حسگر نیز است.

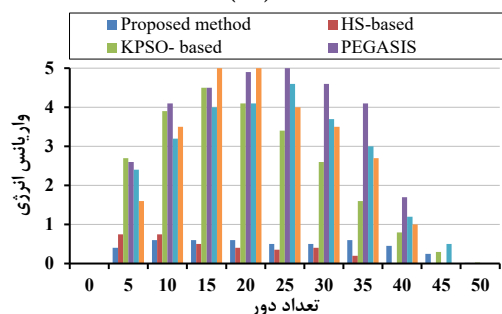
از دیدگاه میزان سربارهای ایجادشده در شبکه توسط روش پیشنهادی و روش‌های مورد مقایسه، توجه به این نکته اهمیت زیادی دارد که در روش پیشنهادی سربارهای انتقال داده تقلیل یافته‌اند؛ زیرا برای انجام مراحل روش پیشنهادی در موارد کمتری نسبت به روش‌های دیگر، نیاز به ارسال و دریافت بسته‌های کنترلی بین گره‌های شبکه است. اما، به دلیل محاسبات تاپسیس در روش پیشنهادی، حجم محاسبات برداری در این روش نسبت به روش‌های دیگر بیشتر است. سرباری که در شبکه‌های حسگر بی‌سیم از لحاظ مصرف منابع و ایجاد تأخیر، تأثیر منفی قابل توجهی بر شبکه می‌گذارد، سربار انتقال داده و میزان بسته‌های کنترلی ارسال و دریافت شده است. زیرا محاسبات در هر حجمی در گره‌ها، توسط زیرسیستم پردازش که تشکیل شده از یک ریزپردازنده یا ریزکنترلگر است، انجام می‌شوند که این اجزاء در مقایسه با اجزای زیرسیستم انتقال داده گره‌ها، بسیار کم-مصرف می‌باشند و نیز با تأخیر بسیار پایین کار می‌کنند. بنابراین، دغدغه سربار محاسباتی نسبت به سربار انتقال داده ناچیز است و لذا، روش پیشنهادی سربار پایین‌تری نسبت به روش‌های مورد مقایسه به شبکه تحمیل می‌کند.

۵. نتیجه‌گیری

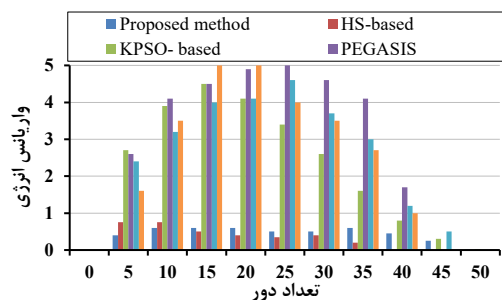
در این مقاله، روشی برای بهینه‌سازی طول عمر برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شد. در روش پیشنهادی، با استفاده از شاخص ابتکاری پایداری خوشه و به‌کارگیری روش تاپسیس فازی برای انتخاب چندهدفه، خوشه‌بندی شبکه‌های حسگر بی‌سیم، انجام می‌گردد. ابتدا محیط شبکه بر اساس موقعیت مکانی گره‌ها به ناحیه‌هایی افزای می‌شود. سپس، سرخوشه‌ها با استفاده از تاپسیس فازی چندمعیاری، انتخاب می‌شوند و خوشه‌ها شکل می‌گیرند. داده‌های دریافتی از گره‌ها، پس از تجمع در گره سرخوشه به چاهک ارسال می‌شوند. نتایج پیاده‌سازی و ارزیابی، نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با استفاده از شاخص ابتکاری پایداری خوشه و تاپسیس فازی، توانسته است میزان مصرف



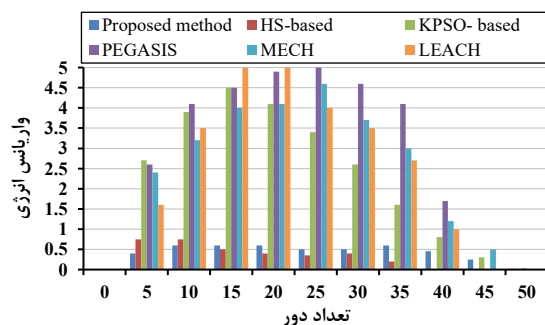
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل (۵). واریانس مقدار انرژی باقیمانده گره‌ها در دوره‌های پی‌درپی برای روش‌های مورد مقایسه با الف) ۳ خوشه، ب) ۴ خوشه، ج) ۵ خوشه، د) ۶ خوشه

با توجه به ارزیابی‌های انجام‌شده در این بخش برای روش پیشنهادی، در مقایسه با روش‌های قبلی، از آنجایی‌که انرژی باقیمانده شبکه و نیز تعداد گره‌های زنده در روش پیشنهادی نسبت به روش‌های مورد مقایسه در بعد زمان و با پیشرفت دوره‌ها، همواره بالاتر است و نیز، واریانس انرژی گره‌ها پایین‌تر است، می‌توان نتیجه گرفت که روش پیشنهادی نه تنها مصرف انرژی را در گره‌های شبکه کاهش می‌دهد، بلکه با انتخاب بهینه سرخوشه‌ها و

- [3] M. Alaei and F. Yazdanpanah, "A Method for Energy and Delay Aware Routing in Wireless Multimedia Sensor Networks," J ELECTRONICAL & CYBER DEFENCE, vol.12, no. 3, 2024. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1403.12.3.6.8.> (in Persian)
- [4] H. Zhou and J. Li, "Sleep Scheduling for Enhancing the Lifetime of Three-Dimensional Heterogeneous Wireless Sensor Networks," In book: Computer Supported Cooperative Work and Social Computing, pp.365-375, 2023. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2356-4_29.
- [5] M. Alaei and F. Yazdanpanah, "ZOGLO: A Scheme of Zoning and Data Gathering for Lifetime Optimization in Wireless Sensor Networks," Journal of Soft Computing and Information Technology (JSCIT), vol. 7, Issue 2, pp. 71-80, 2019. (in Persian)
- [6] A. Seyyedabbasi, G. Dogan, and F. Kiani, "HEEL: A New Clustering Method To Improve Wireless Sensor Network Lifetime," IET WIRELESS SENSOR SYS, vol. 10, no. 3, pp. 130-136, 2020. <https://doi.org/10.1049/ietwss.2019.0153>.
- [7] S. Jadhav and S. Jadhav, "KPSO: K-Mean and PSO Based Clustering Algorithm for Wireless Sensor Network," 6th IEEE International Conference On Computing, Communication, Control and Automation (ICCUBEA), 2020. <https://doi.org/10.1109/ICCUBEA54992.2022.10011024>.
- [8] A. Joseph, R. Asaletha, V. J. Manoj, and R. Nishanth, "Enhancing the Network Lifetime of a Wireless Sensor Network using Modified K-Means Firefly Optimization," J PHYS, vol. 2466, no. 012019, 2023. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2466/1/012019>.
- [9] F. Elfouly, A. Khedr, M. H. Sharif, E. Alreshidi, K. Yadav, H. Kusetogullari, and R. Ramadan, "ERCP: Energy-Efficient and Reliable-Aware Clustering Protocol for Wireless Sensor Networks," SENSORS, vol. 22, no. 8950, pp. 1-17, 2022. <https://doi.org/10.3390/s22228950>.
- [10] M. Alaei and F. Yazdanpanah, "EELCM: An Energy Efficient Load-Based Clustering Method for Wireless Mobile Sensor Networks," MOBILE NETW APPL, vol. 24, no. 5, pp.1486-1498, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11036-019-01270-2>.
- [11] B. Sarangi and B. Tripathy, "Outlier Detection Technique for Wireless Sensor Network Using GAN with Autoencoder to Increase the Network Lifetime," INT J COMP NETW INF SEC, vol. 15, pp. 26-38, 2023. <https://doi.org/10.4018/IJBDCN.286705>.
- [12] S. Z. Majidian and M. Shirmohammadi, "Clustering and Routing in Wireless Sensor Networks Using Multi-Objective Cuckoo Search and Game Theory," J ELECTRONICAL & CYBER DEFENCE, vol. 10, no. 3, 2023. DOR:<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1401.10.3.2.0.> (in Persian)
- [13] D. S. Sultana, D. Bordoloi, C. Singh, D. Srivastava, N. Thiagarajan, and N. Chinthamu, "A Comparative Approach on Enhancing Lifetime of Wireless Sensor Networks," 5th IEEE International Conference on Contemporary Computing and Informatics, 2023. <https://doi.org/10.47750/pnr.2022.13.S07.189>.

انرژی شبکه را برای جمع‌آوری داده‌های شبکه حسگر بی‌سیم کاهش دهد و نیز سطح انرژی گره‌ها را متوازن نگاه دارد. علاوه بر این، با حفظ گره‌های زنده بیشتر، با پوشش بهتر محیط، جمع‌آوری داده با دقت بالاتری در محیط استقرار گره‌ها، انجام دهد. با توجه به اینکه در روش پیشنهادی، ابتدا با استفاده از روش ناحیه بندی، شبکه به صورت موقت به تعدادی ناحیه تقسیم می‌شود و سپس، گره‌های سرخوشه به روش تاپسیس فازی معین می‌شوند و خوشه‌ها را تشکیل می‌دهند، سربار محاسباتی نسبتاً بالایی به گره‌ها تحمیل می‌گردد. اما، از آنجایی که انجام این محاسبات سربار بر عهده ریزپردازنده یا ریز کنترل‌گر گره است و این عناصر از لحاظ انرژی کم‌مصرف می‌باشند و نیز تأخیر پایینی دارند (در فرکانس بالا کار می‌کنند)، این عیب روش پیشنهادی تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر کارایی گره‌ها و شبکه نمی‌گذارد. با بزرگ شدن ابعاد شبکه، عملکرد مراحل طرح‌شده برای روش پیشنهادی تغییری نخواهند داشت زیرا عملکرد هیچ یک وابسته یا محدود به ابعاد ناحیه نیستند. همگن یا ناهمگن بودن شبکه هیچ تأثیری در عملکرد مراحل روش پیشنهادی ندارد بلکه روش پیشنهادی صرفاً بر اساس پارامترها و محاسبات هر مرحله، عمل می‌کند. به عبارت دیگر، مستقل از موضوع همگن بودن است.

6. ضمیمه الف - الگوریتم شبه کد روش پیشنهادی

The Proposed Fuzzy Topsis-based Clustering Method

- 1: Deploy the nodes in random manner
- 2: Set sink location at the center of area
- 3: Estandish the sub-areas
- 4: for each zone (Z_i)
- 5: Calculate (E_{avg}^i) of Z_i
- 6: for each N_j belongs to Z_i
- 7: if ($E_{N_j} \geq E_{avg}^i$) then
- 8: Send (Centrality(N_j), E_{N_j} , $Dist_{Avg}(N_j)$,
- 9: $Dist_{N_j}^{Sink}$, $Stab(N_j)$) to TOPSIS module
- end for
- 10: Perform TOPSIS to determine the CH by Eq.s 4-11
- 11: The CH sends Advertisement Packet
- 12: The receiver nodes join to the closest CH
- 13: During each round, the CH collects data in the established cluster and sends to Sink
- 14: end for

7. مراجع

- [1] J. Z. Ahmadabadi and K. Ebrahimi, "Investigating the Impact of Environmental Data Changes on the Lifetime of Wireless Sensor Network," J ELECTRONICAL & CYBER DEFENCE, vol. 12, no. 3, 2024. DOR:[20.1001.1.23224347.1403.12.3.2.4](https://ecdj.ihu.ac.ir), <https://ecdj.ihu.ac.ir>. (in Persian)
- [2] A. R. Nadinejad and M. Alaei, "A Heuristic Data Diffusion and Gathering Scheme Using Virtual Line for Wireless Sensor Networks with Mobile Sink," J ELECTRONICAL & CYBER DEFENCE, vol. 9, no.2, 2021. <https://ecdj.ihu.ac.ir>. (in Persian)

- [23] A. M. Jubair, R. Hassan, A. Aman, H. Sallehudin, Z. Al-Mekhlafi, B. Mohammed, and M. Alsaffar, "Optimization of Clustering in Wireless Sensor Networks: Techniques and Protocols," *APPL SCI*, vol. 11, no. 23, 11448, pp. 1-30, 2021. <https://doi.org/10.3390/app112311448>.
- [24] M. Mirzasadeghi and H. Bakhshi, "A New Method for Clustering Wireless Sensor Networks to Improve the Energy Consumption," *J COMMUN ENG*, vol. 5, no. 2, pp. 136-149, 2016. <https://doi.org/10.22070/jce.2017.1614>.
- [25] M. Khan, J. Khan, K. Mahmood, I. Bari, H. Ali, N. Jan, and R. Ghoniem, "Algorithm for Increasing Network Lifetime in Wireless Sensor Networks Using Jumping and Mobile Sensor Nodes," *ELECTRONICS*, vol. 11, no.2913, pp. 1-15, 2022. <https://doi.org/10.3390/electronics11182913>.
- [26] R. Medeiros, J. M. Villanueva, and E. Macedo, "Lifetime Increase for Wireless Sensor Networks Using Cellular Learning Automata," *WIRELESS PERS COMMUN*, vol. 123, pp. 3413-3432, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11277-021-09295-1>.
- [27] R. Marappan, P. Vardhini, G. Kaur, S. Murugesan, M. Kathiravan, N. Bharathiraja, and R. Venkatesan, "Efficient Evolutionary Modeling in Solving Maximization of Lifetime of Wireless Sensor Healthcare Networks," *SOFT COMPUT*, vol. 27, Issue. 16, PP. 11853-11867, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08623-w>.
- [28] M. Alaei, P. Sabbagh, and F. Yazdanpanah, "A QoS-aware Congestion Control Mechanism for Wireless Multimedia Sensor Networks," *WIREL NETW*, vol. 25, no. 3, pp. 4173-4192, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11276-018-1738-8>.
- [29] S. Misra and R. Kumar, "An Analytical Study of LEACH and PEGASIS Protocol in Wireless Sensor Networks," *International Conference on Innovations in information Embedded and Communication Systems (ICIECS)*, 2017, <https://doi.org/10.1109/ICIECS.2017.8276118>.
- [30] R. Chang and C. Kuo, "An Energy Efficient Routing Mechanism for Wireless Sensor Networks," 20th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA'06), 2006. <https://doi.org/10.1109/AINA.2006.86>.
- [31] W. B. Heinzelman, A.P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application-specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE T WIREL COMMUN*, vol. 1, Issue 4, 2002. <https://doi.org/10.1109/TWC.2002.804190>.
- [14] R. Subha and A. Haldorai, "Improved EPOA Clustering Protocol for Lifetime Longevity in Wireless Sensor Network," *SENSORS*, vol. 3. no. 100199, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2022.100199>.
- [15] D. Agrawal, S. Pandey, P. Gupta, and M. K. Goyal, "Optimization of Cluster Heads Through Harmony Search Algorithm in Wireless Sensor Networks," *J INTELL FUZZY SYST*, vol. 39, no. 6, pp. 8587-8597, 2020, <https://doi.org/10.3233/JIFS-189175>.
- [16] L. Jawad and A. Idrees, "Integrated Encoding and Scheduling Protocol for Improving the Lifetime in Wireless Sensor Networks," *INT J COMPUT APPL T*, vol. 69, no. 334, pp. 334-343, 2022. <https://doi.org/10.1504/IJCAT.2022.10054564>.
- [17] V. Narayan and A. K. Daniel, "Energy Efficient Protocol for Lifetime Prediction of Wireless Sensor Network using Multivariate Polynomial Regression Model," *J SCI IND RES INDIA*, vol. 81, no. 12, pp. 1297-1309, 2022. <https://doi.org/10.56042/jsir.v81i12.54908>.
- [18] K. Debasis, L. Sharma, V. Bohat, and R. Bhadoria, "An Energy-Efficient Clustering Algorithm for Maximizing Lifetime of Wireless Sensor Networks using Machine Learning," *MOBILE NETW APPL*, vol.28, no.2, pp. 1-15, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11036-023-02109-7>.
- [19] S. Phommasan, Widyawan, and I. W. Mustika, "Cluster Selection Technique with Fuzzy Logic-Based Wireless Sensor Network to Increase the Lifetime of Networks," 5th International Conference on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI), 2022. <https://doi.org/10.1109/ISRITI56927.2022.10052871>.
- [20] A. Taha, H. Abouroumia, S. Mohamed, and L. Amar, "Enhancing the Lifetime and Energy Efficiency of Wireless Sensor Networks Using Aquila Optimizer Algorithm," *FUTURE INTERNET*, vol. 14. no. 365, pp. 1-17, 2022. <https://doi.org/10.3390/fi14120365>.
- [21] C. D. Tran, N. Tam, N. Quy, and H. Binh, "An Energy-Efficient Scheme for Maximizing Data Aggregation Tree Lifetime in Wireless Sensor Network," *J AMB INTEL HUM COMP*, vol. 14, 2023. <https://doi.org/10.3390/s12652-023-04621-w>.
- [22] A. J. Yuste-Delgado, J. C. Cuevas-Martinez, and A. Trivino-Cabrera, "A Distributed Clustering Algorithm Guided by the Base Station to Extend the Lifetime of Wireless Sensor Networks," *SENSORS*, vol. 20, no. 8, ID: 2312, pp. 1-18, 2020. <https://doi.org/10.3390/s20082312>.