یک الگوریتم خوشه‌بندی جدید چندگامه مبتنی بر تأخیر تکرار برای بهبود کیفیت سرویس اینترنت اشیا

فرناز راسخی و شهرام بابائی *

گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز، ایران

چکیده

اینترنت اشیا به شبکه‌ای از اشیا فیزیکی اطلاق می‌شود که در آن اشیا دارای شناسهٔ منحصر، قادر هستند با یکدیگر و یا با کاربر نهایی از طریق اینترنت ارتباط برقرار کنند. به‌دلیل محدودبودن برد رادیویی اشیا و همچنین کاهش انرژی مصرفی، انتقال اطلاعات از طریق اشیا واسط انجام می‌شود که لزوم مسیریابی را مشخص می‌کند. یک الگوریتم مسیریابی به‌طور مستقیم بر قابلیت اطمینان، تأخیر، انرژی مصرفی، گذردهی شبکه، استفادهٔ مؤثر از پهنای باند و طول عمر شبکه تأثیر می‌گذارد. در این مقاله یک رویکرد مسیریابی جدید مبتنی بر خوشه‌بندی توزیع‌شده و تأخیر تکراری برای بهبود کیفیت سرویس اینترنت اشیا پیشنهاد می‌شود که اشیای شبکه به تعدادی خوشه مجزا از هم تقسیم می‌شود. خوشه‌بندی بر اساس حالت‌های مختلف اشیای همسایه انجام می‌شود و برای ارسال داده‌های سرخوشه‌ها به ایستگاه پایه نیز از روش تأخیر تکرار استفاده می‌شود. در رویکرد پیشنهادی برای انتخاب سرخوشهٔ واسط مناسب، تأخیر انتقال از شیء سرخوشه تا شیء واسط، تأخیر انتقال از شیء واسط تا چاهک و انرژی باقیماندهٔ شیء واسط در نظر گرفته می‌شود. نتایج شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در نرم‌افزار Cooja نشان می‌دهد که رویکرد پیشنهادی به‌طور متوسط در مقایسه با الگوریتم‌های LEACH، LEACH-E، NCACM، Distributed Clustering از نظر میزان مصرف انرژی ۳۳٪ ، مرگ نخستین گره ۱۴٪، تعداد اشیای مرده ۱۲٪ و نرخ دریافت صحیح بسته‌ها ۹٪ عملکرد بهتری دارد.

واژگان کلیدی: اینترنت اشیا، خوشه‌بندی توزیع‌شده، تأخیر تکرار، مسیریابی، کیفیت سرویس خدمات.

A new multi-hop clustering algorithm based on iterative delay to enhance QoS for Internet of Things

Farnaz Rasekhi and Shahram Babaie *

Department of Computer Engineering, Tabriz Branch,

Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Abstract

In general, Internet of Things (IoT) as a new technology refers to a network of physical things in which objects have a unique identity and are able to communicate with each other or with the end user via the Internet. The Internet of Things refers to a collection of sensor-embedded devices, processing ability, software, and other technologies that connect and exchange data with other devices and systems over the Internet or other communications networks. Due to the limited radio range of objects and also the reduction of energy consumption, information transmission is carried out through the intermediate objects, which highlights the necessity for routing. Routing algorithms can be classified into static and dynamic techniques as well as source initiated and destination initiated approaches. In general, routing algorithms can be classified into data centric, hierarchical, geographical, and quality of service-based mechanisms. A routing algorithm directly affects reliability, transmission latency, power consumption,

* نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

* Corresponding author

• تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۰/۸/۴ • تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۳ • تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۵/۱۰ • نوع مطالعه: پژوهشی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.61186/jsdp.21.1.3]

network throughput, bandwidth utilization, and network lifetime. This paper proposes a new routing method based on distributed clustering and iterative latency to improve the Quality of Service (QoS) of IoT, which divides network things into a number of separate clusters. The proposed method consists of four stages, i.e. network clustering, steady state, multi-hop transmission based on delay estimation, and investigation of adjacent headers. Clustering is performed based on the different states of neighbors, and the iterative delay mechanism is used between the cluster heads. The simulation results conducted through Cooja tool indicate that the proposed method outperforms the LEACH, LEACH-E, NCACM, and distributed clustering techniques in terms of energy consumption and packet delivery ratio by 33% and 9%. Furthermore, simulation results illustrate that the proposed method outperforms in terms of the first node death time and the number of dead objects in scattered and dense networks by 14% and 12%, respectively.

Keywords: **Internet of Things (IoT), Distributed clustering, Iterative delay, Routing, Quality of Service (QoS).**

۱- مقدمه

اصطلاح اینترنت اشیا[1] برای نخستین بار در سال ۱۹۹۹ توسط کوین اشتون مطرح شده‌است[۱]، وی جهانی را توصیف کرده است که در آن هر چیزی از جمله اشیا بی‌جان برای خود هویت دیجیتال داشته باشند و به رایانه‌ها اجازه دهند آن‌ها را سازمان‌دهی و مدیریت کنند[۲]. اشیا هوشمند باید بتوانند قابلیت شناسایی و برقراری ارتباط و تعامل با یکدیگر، کاربران نهایی یا دیگر موجودیت‌های شبکه را داشته باشند[۳]. چالش‌های اینترنت اشیا از سه دیدگاه استقرار عملیاتی، تکنیکی و امنیتی قابل بحث می‌باشند[۴]. دیدگاه استقرار عملیاتی که شامل توان، حافظهٔ اشیا و مسائل هزینه‌ایی است، دیدگاه تکنیکی شامل تبادل فراگیر داده از طریق فن‌آوری‌های بی‌سیم، مدیریت انرژی، مکان‌یابی و ردیابی و خودسازمان‌دهی است و از دیدگاه امنیتی مسائل محرمانگی، تمامیت داده‌ها و تایید هویت مطرح می‌شوند[۵].

در اغلب مراجع برای اینترنت اشیا یک معماری سه لایه‌ایی متشکل از لایه ادراک، لایه شبکه و لایه برنامه‌های کاربردی معرفی شده است. لایه ادراک پایین‌ترین لایه این معماری می‌باشد که مسئول جمع‌آوری اطلاعات از محیط و تبدیل آن‌ها به داده‌های دیجیتال می‌باشد. لایه شبکه مسئول هدایت بسته‌ها در شبکه است. بالاترین لایه مسئول برقراری ارتباط این فناوری با کاربران است. [۶].

مسیریابی نقش مؤثری در مدیریت انتقال داده‌های اینترنت اشیای شبکه دارد. در اغلب کاربردهای اینترنت اشیا کمینه‌کردن مصرف انرژی برای اهداف تبادلات و پردازش یک هدف اصلی است؛ بنابراین مسیریابی کارا و کاهش مصرف انرژی از چالش‌های مهم برای بهبود کارایی اینترنت اشیا هستند[۷]. عوامل متعددی مانند محدودیت منابع، نحوه استقرار گره‌ها، ناهم‌گونی اشیا و از بین رفتن گره‌های شبکه در طول زمان طراحی پروتکل‌های مسیریابی برای اینترنت اشیا را به یک موضوع چالشی تبدیل کرده است [۸]. الگوریتم‌های مسیریابی از نظر روش تصمیم‌گیری به دو گروه ایستا و پویا [۹] و از نظر نحوه عملکرد به دو گروه متمرکز و غیرمتمرکز تقسیم می‌شوند [۱۰]. همچنین پروتکل‌های مسیریابی بر اساس ساختار شبکه به سه گروه مسیریابی مسطح، مسیریابی سلسله‌مراتبی و مسیریابی مبتنی بر مکان تقسیم می‌شوند[۱۱]. مسیریابی سلسله‌مراتبی یا مبتنی بر خوشه‌بندی به‌طورمعمول از نظر انرژی بهینه بوده و از اشیا با انرژی بالاتر برای پردازش و ارسال اطلاعات استفاده می‌کنند و اشیا با انرژی کمتر را برای انجام عملیات حسگری در نزدیکی هدف به کار می‌برند[۱۲].

با توجه به اینکه نحوه هدایت بسته‌ها از یک شیء به ایستگاه پایه یک مسئله کلیدی در اینترنت اشیا است و به‌طورمستقیم بر پارامترهای کیفیت سرویس شبکه مانند طول عمر شبکه، تأخیر، کارایی و میزان رضایتمندی کاربران از شبکه تأثیر می‌گذارد، در این مقاله یک الگوریتم خوشه‌بندی چندگامه برای اینترنت اشیا ارائه می‌شود که در ابتدا اشیا شبکه یک عدد تصادفی تولید می‌کنند و آن را در هر مرحله کاهش می‌دهند، شیءای که عدد آن به صفر برسد، یک پیام درخواست ایجاد خوشه ارسال می‌کند؛ سپس با توجه به شرایط شبکه، چندین سرخوشه مناسب انتخاب می‌شود. در رویکرد پیشنهادی برای ارسال اطلاعات به ایستگاه پایه از روش تأخیر تکرار استفاده می‌شود تا مسیرهایی که تأخیر کمتری دارند برای انتقال انتخاب شوند. برای محاسبهٔ تأخیر تکرار، تأخیر انتقال اشیا واسط ارزیابی می‌شود تا کل تأخیر انتقال به ایستگاه پایه مشخص شود، لذا اشیای نامزد واسط بر اساس تأخیر تکرار و انرژی باقیماندهٔ اشیا انتخاب می‌شوند و اطلاعات

[1] Internet of Things (IoT)

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.61186/jsdp.21.1.3]

مسیریابی به‌صورت دوره‌ای بـه واسـطهٔ اطلاعـات دریافـت شده از همسـایه‌ها بـه روز می‌شـود تـا عملکـرد بلادرنـگ اینترنت اشیا تضمین شود.

ادامهٔ این مقاله بدین صورت سازمان‌دهی شده اسـت: در بخش ۲، سوابق مربوط به مسـیریابی در اینترنـت اشـیا آورده شده و در بخش ۳ یـک رویکـرد جدیـد مبتنـی بـر خوشه‌بندی و تأخیر تکـرار پیشـنهاد شـده اسـت؛ سـپس پارامترهای شبیه‌سازی و نتایج ارزیابی رویکرد پیشـنهادی در بخـــش ۴ و درنهایـــت در بخـــش ۵ نتیجـــه‌گیری و پیشنهادها برای کارهای آینده آورده شده است.

۲- کارهای انجام‌شده

در سال‌های اخیر پژوهش‌های گسترده‌ایی در حوزهٔ مسیریابی و مصرف انرژی اینترنت اشیا صورت گرفته و رویکردهای مختلفی برای مسیریابی بسته‌ها در این شبکه‌ها ارائه شده است که به نوعی سعی داشته‌اند با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد این فناوری عملکرد مناسبی داشته باشند. خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی با انرژی پایین [1]، یک الگوریتم مسیریابی پایه مبتنی بر خوشه‌بندی برای جمع‌آوری و ارسال اطلاعات به چاهک است که سیاست سلسله‌مراتبی را برای سازماندهی شبکه به کار می‌گیرد. در این روش گره‌های شبکه به تعدادی خوشهٔ مستقل از هم تقسیم می‌شوند و هر خوشه توسط سرخوشهٔ آن مدیریت می‌شود. سرخوشه مسئول جمع‌آوری اطلاعات از اعضای خوشه‌ها، یک‌پارچه‌سازی داده‌ها و تنظیم برنامهٔ زمان‌بندی مبتنی بر تقسیم زمانی [2] است که به موجب آن هر گره فقط در برش زمانی خودش می‌تواند داده‌ایی را ارسال کند. لازم به ذکر است سرخوشه در پایان هر دوره عوض می‌شود و گره دیگری به‌عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. تغییر نوبتی سرخوشه‌ها باعث جلوگیری از اتمام کامل انرژی گره‌های شبکه می‌شود. عیب عمدهٔ این الگوریتم، دید محلی و انتخاب تصادفی سرخوشه‌ها است[۱۳].

در [۱۴] Radhika وSivakumar روش انتخاب تصادفی گره سرخوشه در رویکرد LEACH را با درنظرگرفتن سطح انرژی باقیمانده هر گره حس‌گر به‌منظور کاهش انرژی مصرفی و افزایش طول عمر هرگره به [۱۵]E-LEACH[3] تغییر داده‌اند. در الگوریتم TL-LEACH، دو سطح سلسله‌مراتبی بین سرخوشه و ایستگاه پایه پیشنهاد شده است که یک گره با سطح انرژی بالا در شبکه به عنوان سرخوشه اصلی عمل می‌کند و سرخوشه خوشه‌ها به‌عنوان سرخوشه‌های ثانویه نامیده می‌شوند. نخستین قدم TL-LEACH مشابه الگوریتم LEACH است و در مرحلهٔ بعدی سرخوشه اصلی انتخاب می‌شود. سرخوشه‌های ثانویه گره‌هایی را به‌عنوان سرخوشه اصلی انتخاب می‌کنند که به BS نزدیک‌تر باشند. برای ارزیابی فاصله‌ها از شاخص قدرت سیگنال دریافت شده[4] استفاده می‌شود. همچنین برای انتقال از روش CDMA استفاده می‌شود و استراتژی چرخش تصادفی نیز برای انتخاب سرخوشه اصلی و ثانویه دنبال می‌شود [۱۶]. برای افزایش مقیاس‌پذیری LEACH، برخی از نویسندگان مفهوم سرخوشه کمکی و برخی دیگر مفهوم سرخوشه‌های اولیه و ثانویه را را مطرح کرده‌اند. V-LEACH یک الگوریتم ارائه شده توسط Yassein و همکارانش برای کاهش مصرف انرژی با محدود کردن فعالیت‌های اضافی سرخوشه‌ها است. همچنین در این الگوریتم سرخوشه کمکی برای شرایط ضروری معرفی شده است [۱۷].

در الگوریتم CLEARMaXT یک رویکرد ترکیبی برای هدایت بسته‌ها مورد استفاده قرار گرفته است، به‌طوری‌که گره‌هایی که در محدوده یک سرخوشه قرار دارند مسیریابی تک‌گامه و در غیر این‌صورت از شیوه‌های چندگامه استفاده می‌کنند. در مورد مسیریابی بین خوشه‌ای نیز از آنجایی‌که هر گره، گره والدین خود را می‌شناسد، سرخوشه انتخاب‌شده با گرهی که وضعیت مناسبی ارتباط برقرار می‌کند [۱۸]. در [۱۹] یک رویکرد مسیریابی انرژی کارآمد رایانش خوشه‌ای توزیع‌شده برای اینترنت اشیا پیشنهاد داده است. در این روش ابتدا اشیای شبکه خوشه‌بندی می‌شوند و مرکز گرانش هر خوشه تعیین شده و انرژی باقیمانده اشیا برای انتخاب گره سرخوشه در نظر گرفته می‌شود. با توجه به تعداد گره‌های اشیا هر خوشه، گره سرخوشه یک زمانبندی مبتنی بر تقسیم زمانی با دسترسی چندگانه را برای اعضای خوشه ایجاد می‌کند. همچنین سرخوشه بعد از دریافت اطلاعات از اشیا عضو خوشه آنها را تجمیع کرده و در قالب یک سیستم به ایستگاه پایه ارسال می‌کند.

در [۲۰] Qiu و همکارانش یک پروتکل مسیریابی کارآمد مبتنی بر تأخیر تکرار[5] برای پاسخ‌دهی بلادرنگ برای اینترنت اشیا پیشنهاد داده‌اند که از تخمین تأخیر

[1] LEACH: Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy
[2] Time Division Multiple Access (TDMA)
[3] Improving the LEACH protocol for privacy preservation in secure data aggregation in Wireless Sensor Networks (E-LEACH)
[4] Receive Signal Strength Indicator (RSSI)
[5] Delay Iterative Method (DIM)

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.61186/jsdp.21.1.3]

برای حل مشکل نادیده گرفتن مسیرهای معتبر استفاده می‌کند. در این روش جداول مسیریابی به صورت دوره‌ای به واسطهٔ ارتباط با اطلاعات گره‌های همسایه به‌روز می‌شود تا عملکرد بلادرنگ تضمین شود. همچنین به منظور تعادل بار شبکه، یک استراتژی به نام انتخاب احتمال انرژی باقیمانده[1] برای ارسال داده‌ها استفاده شده است. این استراتژی وضعیت انرژی باقیمانده اشیا را برای انتخاب گام بعدی استفاده می‌کند، به‌طوری‌که اشیا با انرژی بیشتر احتمال بیشتری دارد که به‌عنوان اشیای بعدی انتخاب شوند.

به‌دلیل محدودیت برد رادیویی اشیا در اینترنت اشیا، یافتن بهترین مسیر یک نیاز اساسی برای انتقال اطلاعات به ایستگاه پایه است. رویکردهای مبتنی بر سلسله‌مراتبی به‌دلیل کاهش انرژی مصرفی و حذف افزونگی داده‌ها یکی از مؤثرترین تکنیک‌ها برای مسیریابی هستند. نحوه خوشه‌بندی و نحوه انتقال بین سرخوشه‌ها، دو مسئله مهمی هستند که به‌طور هم‌زمان در کارایی شبکه تأثیر مستقیم دارند؛ لذا در رویکرد پیشنهادی این مقاله سعی خواهد شد این دو چالش همزمان مورد توجه قرار می‌گیرد.

۳- معرفی رویکرد پیشنهادی

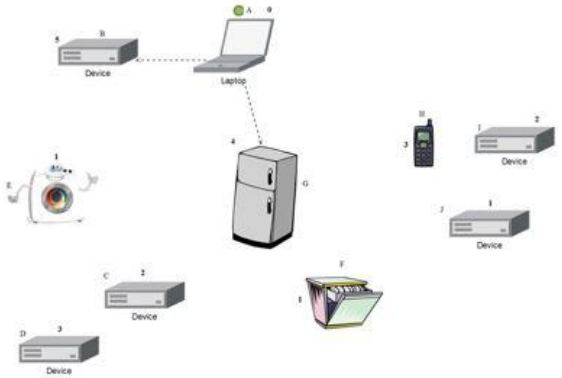
در این مقاله یک رویکرد مسیریابی جدید برای اینترنت اشیا ارائه می‌شود که مبتنی بر خوشه‌بندی بوده و برای انتقال اطلاعات سرخوشه‌ها به ایستگاه مرکزی انرژی باقیماندهٔ سرخوشه‌ها و تأخیر تکراری تا آن ایستگاه مد نظر قرار می‌گیرد. رویکرد پیشنهادی از چهار گام خوشه‌بندی، حالت پایدار، تخمین تأخیر و ارزیابی انرژی باقیمانده سرخوشه‌های مجاور تشکیل شده است. ابتدا گره‌های سرخوشه با در نظر گرفتن وضعیت گره‌های همسایه انتخاب شده و با الحاق دیگر اشیا به آنها خوشه‌بندی انجام می‌شود. گره‌های سرخوشه با تخمین تأخیر گره‌های همسایهٔ خود و محاسبهٔ تأخیر گره سرخوشه تا ایستگاه پایه و همچنین با در نظر گرفتن انرژی باقیماندهٔ سرخوشه‌های مجاور، داده‌ها را ارسال می‌کنند جزئیات رویکرد پیشنهادی در ادامه تشریح می‌شود.

۳-۱- مرحله خوشه‌بندی شبکه

در رویکرد پیشنهادی فرض می‌شود که هر شیء دارای یک شمارهٔ شناسایی منحصر به فرد و جدول مسیریابی است. در هر دوره، هر شیء یک عدد تصادفی را برای شانس سرخوشگی تولید می‌کند که بعد از یک واحد زمانی مشخص، مقدار شمارنده یک واحد کاهش می‌یابد. شیءایی که مقدار شمارنده آن به صفر رسیده باشد با ارسال پیغام درخواست ایجاد خوشه خود را به‌عنوان نامزد سرخوشه‌شدن معرفی می‌کند. این پیغام توسط اشیایی که در برد رادیویی آن شیء قرار دارند دریافت خواهد شد. شکل (۱) معرفی‌شدن لپ‌تاپ به‌عنوان نامزد سرخوشگی را نشان می‌دهد.

در این مرحله برای ایجاد خوشه سه حالت مختلف ممکن است ایجاد شود.

- حالت نخست: حالتی که تمام اشیای دریافت‌کنندهٔ پیام گره نامزد عضو هیچ خوشه‌ای نباشند.



(شکل- ۱): معرفی‌شده یک گره به‌عنوان نامزد سرخوشه

Figure 1. Introducing a node as a cluster head candidate

در این حالت اشیایی که پیام درخواست ایجاد خوشه را از گره نامزد دریافت می‌کنند، در جواب، پیغام ایجاد خوشه را به گره نامزد سرخوشگی می‌فرستند. این پیغام شامل پیغام پیوستن، انرژی باقیمانده و موقعیت مکانی آن شیء است. بدین ترتیب، گره ارسال‌کنندهٔ این پیغام و گره نامزد سرخوشه‌شدن عضو یک خوشهٔ یکسان خواهند بود. پس از اینکه گره نامزد سرخوشه پیغام ایجاد خوشه را دریافت کرد، انرژی باقیمانده و اطلاعات موقعیت گره‌ها را برای انتخاب گره سرخوشه بررسی می‌کند. برای این منظور اگر Lj(Ljx, Ljy) موقعیت گره j باشد، C_i خوشهٔ i و متوسط فاصلهٔ هر گره به نسبت دیگر گره‌های آن خوشه از رابطهٔ (۱) محاسبه می‌شود.

$$Md_{c_i} = \frac{\sum_{i=1}^{|c_i|} d}{|c_i|} \qquad (۱)$$

[1] Residual Energy Probability Choice (REPC)

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.61186/jsdp.21.1.3]

که d فاصلهٔ اقلیدسی بین دو گره را نشان می‌دهد که با رابطهٔ (۲) قابل محاسبه است و $|C_i|$ نشان دهندهٔ تعداد گره‌های موجود در خوشهٔ i است. سپس مقدار $SF_{c_i}(n)$ طبق رابطهٔ (۳) محاسبه می‌شود که $E_{average,c_i}$ نشان‌دهندهٔ متوسط انرژی باقیمانده گره‌ها در خوشهٔ i است.

$$d = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \qquad (۲)$$

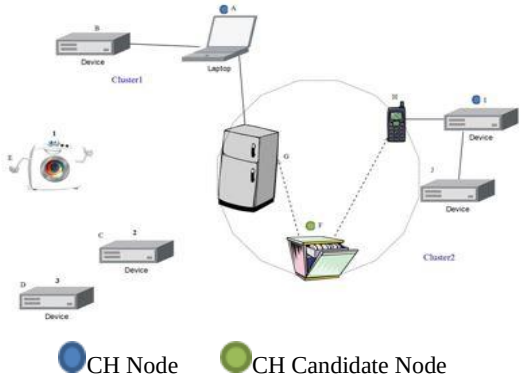
$$SF_{c_i}(n) = \left(\frac{E_{energy}(n)}{E_{average,c_i}}\right) \times w_1 + \left(\frac{1}{Md_{c_i}}\right) \times w_2 \qquad (۳)$$

w_1 و w_2 دو ضریب ثابت هستند که اهمیت پارامترهای انرژی باقیمانده و میزان نزدیکی بین اشیای شبکه را نشان می‌دهد. در رابطهٔ بالا، $E_{energy}(n)$ انرژی باقیماندهٔ گره n و Md_{c_i} متوسط فاصلهٔ آن گره نسبت به دیگر گره‌های خوشه است؛ درنهایت گرهی که دارای بیشترین مقدار SF_{c_i} باشد، به‌عنوان سرخوشهٔ آن خوشه انتخاب خواهد شد. وقتی که یک شیء به یک سرخوشه ملحق می‌شود، کاهش مقدار شمارندهٔ آن متوقف می‌شود. لازم به ذکر است که در رویکرد پیشنهادی الزامی وجود ندارد که گره نامزد سرخوشگی به گره سرخوشه تبدیل شود.

- حالت دوم: تمام اشیای دریافت‌کنندهٔ پیغام، عضو خوشه‌های دیگر باشند.

در این حالت اشیایی که عضو خوشه‌های دیگر هستند به شیء نامزد سرخوشگی اطلاع می‌دهند که عضو خوشه‌های دیگر هستند و نمی‌توانند به آن گره ملحق شوند. اشیا در این پیغام شناسهٔ سرخوشه‌ایی که قبلاً به آن ملحق شده‌اند را اعلام می‌کنند. در این حالت شیء نامزد سرخوشگی از سرخوشه شدن منصرف شده و به نزدیک‌ترین سرخوشه ملحق می‌شود. همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده‌است، شیء F به‌دلیل صفرشدن مقدار شمارنده‌اش، خود را به‌عنوان نامزد سرخوشگی معرفی می‌کند و اشیای H و G آن را دریافت خواهند کرد. از آنجایی‌که اشیای G و H عضو خوشه‌های دیگر هستند، گره نامزد F از بین گره‌های I و A که سرخوشه‌های آن دو گره هستند، نزدیک‌ترین را انتخاب کرده و به آن ملحق می‌شود.

بدین ترتیب شیء نامزد F، پیغام درخواست پیوستن به سرخوشه نزدیک ارسال می‌کند که شامل پیغام پیوستن، انرژی باقیمانده و اطلاعات موقعیت مکانی است. گره H وقتی این پیغام را دریافت می‌کند، انرژی باقیمانده و اطلاعات موقعیت مکانی دیگر گره‌ها را برای انتخاب گره سرخوشه در آن خوشه بررسی می‌کند. باید توجه داشت که با اضافه‌شدن شیء F به خوشه‌ایی که شیء H در آن قرار دارد، ممکن است متوسط فاصلهٔ هر گره نسبت به همسایگانش تغییر کند؛ لذا دوباره انتخاب سرخوشه طبق روابط(۱) تا (۳) باید انجام شود.



(شکل- ۲): اعلام سرخوشگی توسط شیء F

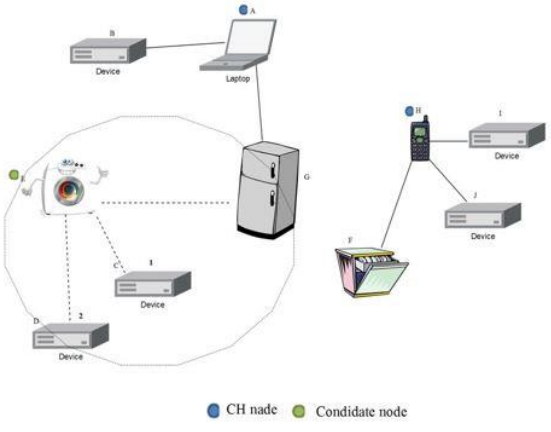
(Figure- 2). Declaration of cluster head candidate by F

- حالت سوم: برخی از اشیای دریافت‌کنندهٔ پیغام گره نامزد عضو خوشه باشند و برخی دیگر عضو هیچ خوشه‌ای نباشند.

در این حالت، وقتی گره نامزد پاسخی از گره‌های همسایهٔ خود دریافت می‌کند، متوجه می‌شود که وضعیت گره‌های همسایه‌اش متفاوت است. در این حالت گره نامزد سرخوشگی فقط گره‌های همسایه‌ای که عضو هیچ خوشه‌ای نیستند را با پیغام پاسخ ایجاد خوشه به خود ملحق می‌کند. به عنوان مثال مطابق شکل (۳)، برای شیء نامزد سرخوشه E، شیء G به علت اینکه عضو یک خوشه دیگر است در نظر گرفته نمی‌شود، ولی اشیای B و C اعضای هیچ خوشه‌ایی نیستند و می‌توانند به آن ملحق شوند. بدین تربیت خوشه‌بندی و انتخاب سرخوشه‌ها در رویکرد پیشنهادی انجام می‌شود.

گفتنی است که اگر یک شیء هم‌زمان از دو گره نامزد سرخوشه پیغام را دریافت کند به سرخوشه نامزد نزدیکتر ملحق خواهد شد. اگر چنانچه فاصله دو گره سرخوشه نامزد به آن گره یکسان باشد، به سرخوشه نامزد که دارای انرژی باقیمانده بیشتری است، ملحق خواهد شد. درنهایت اگر وضعیت دو پارامتر ذکرشده برای دو گره نامزد یکسان باشد، به‌صورت تصادفی یکی از آنها را انتخاب کرده و پیغام پیوست به آن را ارسال خواهد کرد.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.61186/jsdp.21.1.3]



شکل ۳: معرفی شدن گره E به عنوان نامزد سرخوشگی و تبادل اطلاعات با همسایگانش

Figure 3. Introducing node E as a candidate and exchanging information with its neighbors

۲-۳- مرحله حالت پایدار

در مرحلهٔ قبل خوشه‌بندی شبکه انجام شده است. همواره اثبات شده است که اغلب انرژی اشیا شبکه صرف ارسال مجددها به دلیل برخورد بسته‌ها و رقابت برای بدست آوردن کانال می‌شود. لذا استفاده از یک تکنیک کنترل دسترسی به رسانه برای کاهش مصرف انرژی لازم است. در رویکرد پیشنهادی برای نائل شدن به هدف مذکور از رویکرد دسترسی چندگانه تقسیم زمانی[1] استفاده شده است. برای این منظور سرخوشه‌ها یک سیکل ارسال را به تعدادی Time Slot تقسیم می‌کنند و هر Time Slot را به یک شیء اختصاص می‌دهند که هر شیء فقط در Time Slot اختصاصی خود اجازهٔ ارسال خواهد داشت. هنگامی که برنامهٔ زمانی TDMA برقرار شد، انتقال داده می‌تواند آغاز شود. بدین ترتیب اشیا عضو خوشه‌ها، داده‌های تولید شده را به سرخوشه ارسال می‌کنند. همچنین سرخوشه‌ها پس از دریافت اطلاعات از عضو خوشه‌ها، آنها را تجمیع کرده و به‌صورت چندگامه به ایستگاه پایه ارسال می‌کنند.

۳-۳- مرحلهٔ ارسال چندگامه مبتنی بر تخمین تأخیر

در رویکرد پیشنهادی برای انتقال اطلاعات از اشیا عضو خوشه‌ها به سرخوشه‌ها از رویکرد تک گامه استفاده می‌شود. اما برای انتقال اطلاعات سرخوشه‌ها به ایستگاه پایه از مکانیزم چندگامهٔ مبتنی بر تأخیر تکرار استفاده می‌شود. برای این منظور میزان تأخیر از سرخوشه منبع به ایستگاه پایه تخمین زده می‌شود و به تعادل انرژی در انتخاب مسیر توجه خواهد شد. برای این منظور از مکانیزم تأخیر تکراری برای تخمین تأخیر و بررسی انرژی باقیمانده برای تعادل مصرف انرژی اشیا استفاده می‌شود.

تکنیک تأخیر تکراری بر اساس الگوریتم دایکسترا طراحی شده است که سعی می‌کند کوتاه‌ترین مسیر بین سرخوشه‌ها را بر مبنای کمترین تأخیر انتخاب کند. برای این منظور سرخوشهٔ مبدا برای انتخاب سرخوشهٔ واسط مناسب، تأخیر تا همهٔ همسایگانش و تأخیر همسایگانشان تا ایستگاه پایه را مد نظر قرار می‌دهد. برای محاسبهٔ تأخیر تا سرخوشه‌های مجاور، سرخوشهٔ مبدا یک پیغام را در زمان T_S به سرخوشه‌های مجاورش ارسال می‌کند و سرخوشه‌های همسایه نیز پس از دریافت این پیغام، یک پیغام تایید ارسال می‌کنند. با فرض اینکه پیغام تایید در زمان T_R دست سرخوشهٔ مبدا رسیده باشد، تأخیر بین این دو سرخوشه از رابطهٔ (۴) محاسبه می‌شود.

$$T_d = \frac{T_R - T_S}{2} \qquad (۴)$$

محاسبهٔ تأخیر انتقال بین همهٔ سرخوشه‌های مجاور انجام می‌شود. برای اینکه برای انتخاب سرخوشهٔ واسط مناسب، تأخیر انتقال تا آن شیء و تأخیر آن شیء تا ایستگاه پایه باید بررسی شود. لازم به ذکر است که تأخیر انتقال خود ایستگاه پایه به خودش برابر صفر است و همچنین در طول زمان این تأخیرها مجدد محاسبه می‌شوند تا آخرین اطلاعات تأخیر در اختیار اشیا شبکه قرار داشته باشد. همانطور که گفته شد سرخوشهٔ واسط مناسب، شیءای است که مجموع تأخیر انتقال تا آن شیء، به‌علاوه تأخیر انتقال آن شیء تا ایستگاه پایه نسبت به بقیهٔ سرخوشه‌ها مینیمم باشد. به‌عنوان مثال اگر سرخوشه‌های B و C مجاور سرخوشهٔ A باشند، لازم است که تأخیر A تا این دو سرخوشه و همچنین تأخیر انتقال آنها تا ایستگاه پایه بررسی شود. از بین این دو سرخوشه، اونی که مجموع تأخیر انتقال A تا آن سرخوشه و تأخیر انتقال آن سرخوشه تا ایستگاه پایه کمینه باشد به عنوان سرخوشهٔ واسط انتخاب می‌شود. البته گفتنی است برای محاسبهٔ تأخیر انتقال B و C تا ایستگاه پایه لازم است که تأخیر انتقال هر کدام از آنها تا سرخوشهٔ همسایه تک گامی‌اش و تأخیر انتقال همسایهٔ تک گامی‌اش تا ایستگاه پایه مد نظر قرار گیرد.

به عبارت دیگر انتقال داده‌های شیء A تا ایستگاه پایه به شرطی توسط شیء X انجام خواهد شد که تأخیر ارتباط $A - X - BS$ که از رابطهٔ (۵) محاسبه می‌شود

[1] Time D\ivision Multiple Access (TDMA)

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.61186/jsdp.21.1.3]

کمتر از دیگر گره‌های مجاور A باشد. لازم به ذکر است که هر کدام از تأخیرها از طریق رابطهٔ (۵) قابل محاسبه هستند.

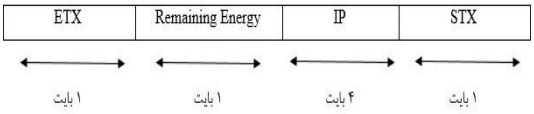
$$d_{A-X-BS} = d_{A-X} + d_{X-BS} \qquad (۵)$$

به‌عنوان مثال دو سرخوشهٔ D و E می‌توانند سرخوشهٔ واسط سرخوشهٔ B باشند. لذا لازم است که $dB-D-Sink$ و $dB-E-Sink$ از رابطهٔ (۵) محاسبه شوند. با فرض اینکه $TB-D-Sink > TB-E-Sink$ باشد طبق رابطهٔ (۶) سرخوشهٔ B سرخوشهٔ E را به‌عنوان سرخوشهٔ واسط انتخاب خواهد کرد. رویهٔ بالا برای سرخوشه‌های واسط نیز تکرار می‌شود.

$$CH_{intermidiate} = min\{\forall X | d_{B-X-DS}\} \qquad (۶)$$

۳-۳- مرحلهٔ بررسی سرخوشه‌های مجاور

در رویکرد پیشنهادی برای ارزیابی انرژی سرخوشه‌های مجاور، ابتدا هر شیء همه اشیا موجود در برد رادیویی خودش را شناسایی می‌کند. برای این منظور بعد از فعال شدن واحد فرستنده هر شیء، یک سیگنال به صورت داده پراکنده انتشار می‌شود. هر شیء با دریافت یک سیگنال از اشیای دیگر متوجه حضور آن‌ها در همسایگی خود می‌شود. در این مرحله لازم است هر شیء اطلاعات اشیا همسایه را در حافظه داخلی خود ثبت کند. لذا در این مرحله هر شیء یک پیغام Hello به‌صورت ساختار شکل (۴) به صورت داده پراکنده ارسال می‌کند.



(شکل- ۴): قالب بسته Hello در رویکرد پیشنهادی

(Figure -4) Hello packet in the proposed method

همان‌طور که در شکل (۴) مشخص است بسته Hello از چهار فیلد تشکیل می‌شود.

- فیلد STX[1]: این فیلد شروع فریم را نشان می‌دهد و یک نویسه ویژه در آن قرار می‌گیرد.
- فیلدIP: آدرس IP شیء فرستنده در آن قرار می‌گیرد. در رویکرد پیشنهادی از IPV4 استفاده شده است و این فیلد ۴ بایت است.
- فیلد انرژی باقی‌مانده: این فیلد انرژی باقیمانده شیء فرستنده را نشان می‌دهد. این فیلد ۸ بیت طول دارد.

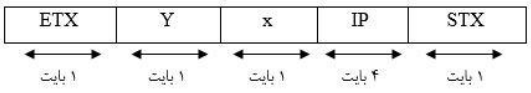
[1] Start of Frame

- فیلد ETX[2]: این فیلد انتهای فریم را نشان می‌دهد و همانند STX یک نویسه ویژه در آن قرار می‌گیرد.

بدین ترتیب پس از ارسال همگانی این بسته‌ها، هر شیء با دریافت این بسته از اشیای همسایه‌اش، مشخصات آن‌ها را در جدول مجاورت[3] خود ثبت می‌نماید؛ بنابراین در رویکرد پیشنهادی هر شیء دارای یک جدول مجاورت است که IP و انرژی باقیمانده اشیای همسایه‌اش در آن ذخیره می‌شود. ساختار این ماتریس در رابطه (۷) نشان داده شده است.

$$AT_i = \begin{bmatrix} T_1 & E_1 \\ T_2 & E_2 \\ \vdots & \vdots \\ T_K & E_K \end{bmatrix} \qquad (۷)$$

که T نشان‌دهنده IP اشیا مجاور و E نشان‌دهنده انرژی باقیمانده اشیا مجاور می‌باشند. بدین ترتیب هر شیء از اطلاعات اولیه اشیای مجاور خودآگاه خواهد بود. سپس هر شیء با یک پیغام اطلاع‌رسانی سعی می‌کند موقعیت جغرافیایی خود را به اشیای مجاور اطلاع دهد. برای این منظور بسته موقعیتی مطابق شکل (۵) بین اشیا ردوبدل می‌شود.



شکل ۵: قالب بسته موقعیتی در رویکرد پیشنهادی

Figure 5. Positioning packet in the proposed method

شکل ۵: قالب بسته‌های موقعیتی در رویکرد پیشنهادی

که شناسه x و شناسه y مربوط به مختصات شیء فرستنده می‌باشند. بدین ترتیب موقعیت فیزیکی اشیا مجاور نیز مشخص است. در اغلب کاربردهای بلادرنگ همهٔ بسته‌های اطلاعاتی دارای یک طول عمر می‌باشند که بسته‌ها باید قبل از منقضی شدن این زمان به ایستگاه پایه برسند. رویکرد پیشنهادی برای بسته‌های ارسالی، یک مقدار به عنوان زمان باقیمانده[4] در نظر می‌گیرد که باید قبل از رسیدن این مقدار به صفر، بسته به ایستگاه پایه برسد. در هر گام انتقال از سرخوشهٔ i به سرخوشهٔ j، این مقدار طبق رابطهٔ (۸) به روز می‌شود.

$$RT = RT - Tij \qquad (۸)$$

[2] End of Frame
[3] Adjacency Table (AT)
[4] Remaining Time (RT)

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.61186/jsdp.21.1.3]

بدین ترتیب بسته‌های اطلاعاتی باید به سرخوشه‌ای تحویل داده شوند که تأخیر تکرار آنها کمتر از مقدار RT بسته باشد. بنابراین هر سرخوشه در حافظهٔ خود یک مجموعه سرخوشه را تحت عنوان CN نگاه می‌دارد که دربرگیرندهٔ سرخوشه‌هایی استکه تأخیر تکرار آنها کمتر از مقدار RT است. این مجموعه سرخوشه‌ها در رابطهٔ (۹) نشان داده شده است.

$$CN = \{A | T_{A-Sink} < RT\} \quad (۹)$$

۴- ارزیابی و کارایی الگوریتم پیشنهادی

ارزیابی کارایی رویکرد پیشنهادی از طریق شبیه‌سازی کامپیوتری انجام شده است و عملکرد آن با رویکردهای E-LEACH[۱۵]، V-LEACH[17]، TL-LEACH[16]، CLEARMaXT[18]، ERGID[20]، Distributed Cluster[19] از نظر انرژی مصرفی و نرخ گم‌شدن بسته‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۱- محیط شبیه‌سازی

برای شبیه‌سازی رویکرد پیشنهادی از ابزار Cooja استفاده شده‌است. این ابزار بر اساس اشیای شبکه با سیستم‌عامل Contiki استفاده شده است. شبیه‌سازی در یک رایانه با پردازندهٔ Intel Core i7 با کلاک پالس ۲/۶ گیگاهرتز با حافظهٔ ۱۶ گیگابایت با سیستم‌عامل ویندوز ۱۰ انجام شده‌است. پارامترهای شبیه‌سازی در جدول (۱) آورده شده است.

(جدول-۱) پارامترهای شبیه‌سازی

Table 1. Simulation parameters

Simulation parameters	Values
Network size	m 500*500
MAC Layer	IEEE 802.11
Energy model	Heintzelman's model
Channel of transmission	Wireless channel
Number of things	100,300

۴-۲- بحث و بررسی نتایج شبیه‌سازی

در این قسمت، با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی شده عملکرد رویکرد پیشنهادی از نظر میزان مصرف انرژی با E-LEACH، V-LEACH، TL-LEACH، CLEARMaXT، Distributed Cluster مقایسه می‌شود.

در رویکردهای LEACH، E-LEACH بار شبکه نامتعادل است و برخی از اشیایی که سرخوشه نیستند، باید داده‌ها را بهطورمستقیم به ایستگاه پایه ارسال کنند. همچنین اشیای سرخوشه انرژی زیادی صرف دریافت و جمع‌آوری داده‌ها و ارسال آن‌ها به ایستگاه پایه می‌کنند. رویکرد پیشنهادی نه تنها فاصلهٔ انتقال داده را کاهش می‌دهد، بلکه بار شبکه را تا حدی متعادل می‌کند. ازاین‌رو مصرف انرژی کاهش می‌یابد. برای بررسی انرژی مصرفی از مدل مصرف انرژی پروتکل LEACH استفاده شده است.

اگر ۱ برابر تعداد بیت‌های ارسالی، d فاصلهٔ بین فرستنده و گیرنده، E_{elec} انرژی لازم جهت ارسال یک بیت، ε_{amp} انرژی لازم برای تقویت بیت‌های ارسالی و d_0 حد آستانهٔ فاصلهٔ ارسالی برای مدار تقویت‌کننده باشد، آنگاه انرژی لازم برای ارسال ۱ بیت مطابق رابطهٔ (۱۰) خواهد بود.

$$E_{tx}(l,d) = E_{tx-elec} + E_{tx-amp}(l) = \begin{cases} lE_{elec} + l\varepsilon_{fs}d^2, d < d_0 \\ lE_{elec} + l\varepsilon_{amp}d^4, d \geq d_0 \end{cases} \quad (۱۰)$$

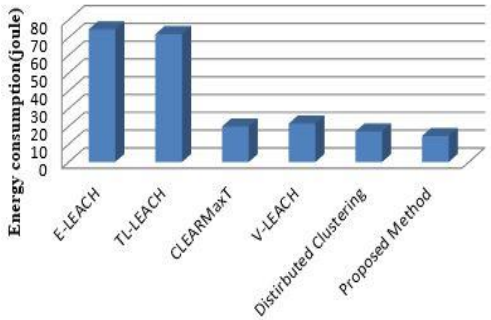
در رابطهٔ (۱۰) مقدار d_0 توسط رابطهٔ (۱۱) محاسبه می‌شود.

$$d_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{fs}}{\varepsilon_{amp}}} \quad (۱۱)$$

انرژی لازم برای دریافت بسته‌های l بیتی نیز توسط رابطهٔ (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$E_{RX}(l) = E_{RX-elec} * (l) \quad (۱۲)$$

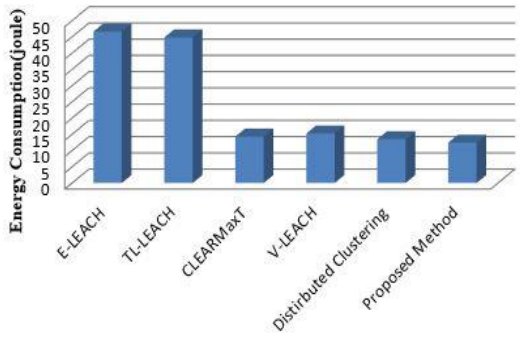
اشکال ۶ و ۷ انرژی مصرفی کل شبکه را با ۱۰۰ و ۳۰۰ شیء نشان می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که انرژی باقیماندهٔ رویکرد پیشنهادی بیشتر از روش‌های مقایسه شده است.



(شکل- ۶) مقایسهٔ انرژی مصرف‌شده شبکه با ۱۰۰ شیء

(Figure- 6) Comparison of network energy consumption with 100 things

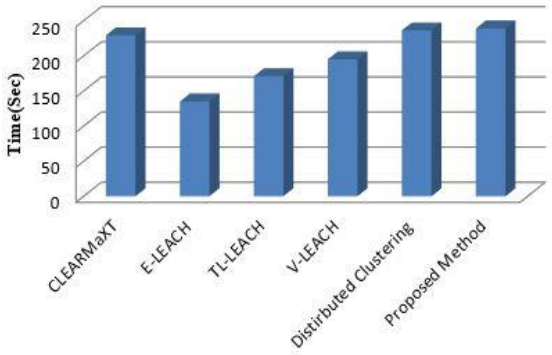
[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.61186/jsdp.21.1.3]



(شکل- ۷) مقایسهٔ انرژی مصرف شده شبکه با ۳۰۰ شیء

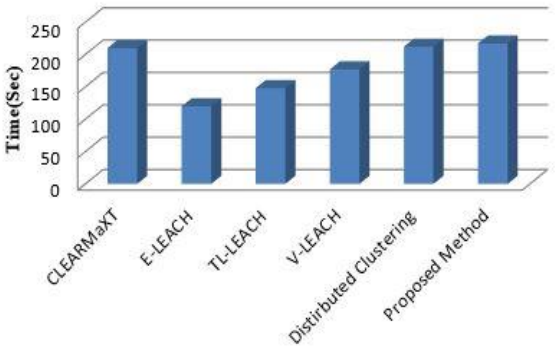
(Figure- 7) Comparison of network energy consumption with 300 things

در یک ارزیابی دیگر برای بررسی طول عمر شبکه سعی شده است، زمان مرگ kosjdk شیء شبکه ارزیابی شود. اشکال ۸ و ۹ به‌ترتیب زمان مرگ نخستین شیء شبکه را به‌ترتیب با ۱۰۰ شیء و ۳۰۰ شیء نشان می‌دهند.



(شکل- ۸) زمان مرگ نخستین شیء در میان ۱۰۰ شیء

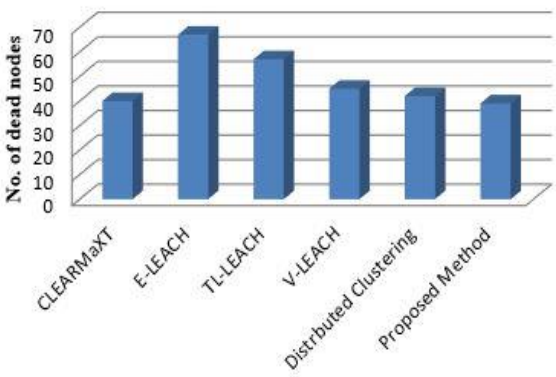
(Figure- 8) First thing death time among 100 things



(شکل- ۹)زمان مرگ نخستین شیء در میان ۳۰۰ شیء

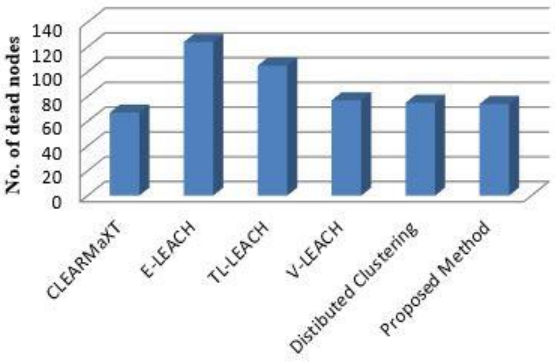
(Figure- 9) First thing death time among 300 things

مطابق نتایج حاصل مشاهده می‌شود تعداد اشیای مرده در شبکه‌های پراکنده و متراکم یعنی در ۱۰۰ و ۳۰۰ شیء رویکرد پیشنهادی نسبت به دیگر رویکردها کمتر است. این اثر در اشکال ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است.



(شکل- ۱۰) تعداد اشیای مرده از بین ۱۰۰ شیء در پایان شبیه‌سازی

(Figure- 10) The number of dead things out of 100 at the end of simulation



(شکل- ۱۱) تعداد اشیاd مرده از بین ۳۰۰ شیء در پایان شبیه‌سازی

(Figure- 11) The number of dead things out of 300 at the end of simulation

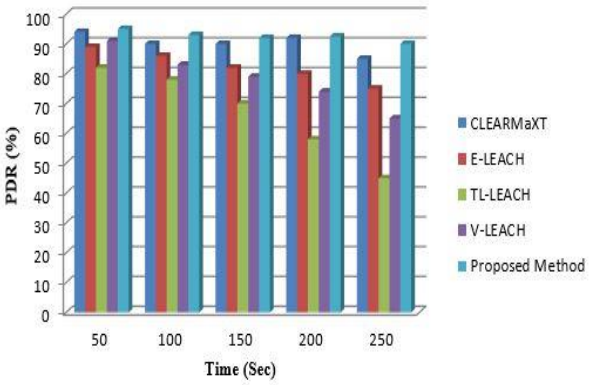
در ادامه کارایی رویکرد پیشنهادی از نظر نرخ دریافت صحیح بسته‌ها با رویکردهای مورد مقایسه ارزیابی شده‌است. به‌طور کلی کاهش نرخ گم‌شدن بسته‌ها هدف مشترک همهٔ الگوریتم‌های مسیریابی است. چون گم‌شدن بسته‌ها باعث ارسال مجدد بسته می‌شود که درنتیجه باعث افزایش تأخیر انتهابه‌انتها، افزایش ترافیک در شبکه و افزایش انرژی مصرفی می‌شود. نرخ دریافت صحیح بسته‌ها از طریق رابطهٔ (۱۳) قابل محاسبه است.

$$PDR(\%) = \frac{\text{تعداد بسته‌های دریافت شده}}{\text{کل بسته‌های ارسال شده}} \times 100 \qquad (۱۳)$$

در شکل (۱۲) نرخ دریافت صحیح بسته رویکرد پیشنهادی با رویکردهای مشابه در بازه زمان‌های مختلف مقایسه شده است. با توجه به اینکه در رویکرد پیشنهادی برای انتخاب سرخوشه واسط از تکنیک تأخیر تکرار استفاده شده است، نرخ دریافت صحیح رویکرد پیشنهادی نسبت به رویکردهای مورد مقایسه بهبود داشته است.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.61186/jsdp.21.1.3]



(شکل- ۱۲) نرخ دریافت صحیح بسته با ۱۰۰ شیء

(Figure- 12) Packet delivery ratio with 100 things

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک الگوریتم خوشه‌بندی چندگامه مبتنی بر تأخیر تکرار برای بهبود کیفیت سرویس در اینترنت اشیا پیشنهاد شد. الگوریتم پیشنهادی معیارهای متعددی مانند تأخیر، اولویت ارسال و انرژی باقیمانده را برای انتخاب سرخوشه و مسیر مناسب در شبکه استفاده می‌کند. محور اصلی رویکرد پیشنهادی، کاهش انرژی مصرفی، افزایش طول عمر شبکه و کاهش نرخ گم‌شدن بسته‌ها در اینترنت اشیا است. اشیا با توجه به سه حالتی که برایشان به وجود می‌آید خوشه‌بندی می‌شوند و سرخوشهٔ مناسب با انرژی باقیماندهٔ بیشتر انتخاب می‌شود؛ سپس برای انتخاب سرخوشه واسط نیز از مکانیزم تأخیر تکرار استفاده شده‌است. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که رویکرد پشنهادی از نظر مصرف انرژی و نرخ دریافت صحیح بسته‌ها نسبت به پروتکل‌های مقایسه‌شده عملکرد بهتری دارد. استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین برای تخمین تأخیر انتقال‌ها در شرایط ازدحام و شرایط عادی شبکه میتواند به عنوان کار آتی این مقاله در نظر گرفته شود.

۶- مراجع 6-Refrence

[1] آذری امین، نیک‌نژاد محسن و عباسی محمود "بهبود قابلیت اطمینان و عمر باتری در شبکه‌های ارتباطی اینترنت اشیاء: چالش‌ها و راهبردهای مبتنی بر یادگیری ماشینی"، مجله هوش محاسباتی در مهندسی برق، دوره ۱۲، شماره ۲، صفحات ۵۲-۴۱، ۱۴۰۰.

[1] A. Azari, M. NikNejad, and M, Abbasi, "Reliability and Battery Lifetime Improvement for IoT Networks: Challenges and AI-powered solutions" Computational Intelligence in Electrical Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 41-52, 2021.

[2] نیره سعیدی و شهرام بابائی "ارائهٔ یک الگوریتم مسیریابی جدید مبتنی بر الگوریتم‌های ژنتیک و تبرید شبیه‌سازی‌شده برای شبکه‌های موردی بین‌خودرویی"، پردازش علائم و داده‌ها، دوره ۱۹، شماره ۲، صفحات ۷۲-۶۱، ۱۴۰۱.

[2] N. Saeidi and S. Babaie, " A New Hybrid Routing Algorithm based on Genetic Algorithm and Simulated Annealing for Vehicular Ad hoc Networks" Signal and Data Processing, Vol. 19, No. 2, pp. 61-72, 2022.

[3] ابراهیمی مریم، تدین محمد حسام، صیادحقیقی محمد. "الگوریتم‌های اعتماد در اینترنت اشیا: بررسی، تحلیل و ارائه معیارهای ارزیابی"، پردازش علائم و داده‌ها، دوره ۱۸، شماره ۲، صفحات ۲۸-۳، ۱۴۰۰.

[3] M. Ebrahimi, M. H. Tadayon, and M. Sayad Haghighi, "Trust Management in Internet of Things: Review, Analysis and Establishment of Evaluation Criteria" Signal and Data Processing, Vol. 18, No. 2, pp. 3-28, 2021.

[4] N. Razzaghi and S. Babaie, " A new selfish thing detection method based on Voronoi diagram for Intrenet of Things," The Journal of Supercomputing, vol. 78, pp. 8389–8408, 2022..

[5] R. H. Weber, "Internet of Things - New security and privacy challenges," Comput. Law Secur. Rev., vol. 26, no. 1, pp. 23–30, 2010.

[6] A. Al-fuqaha, S. Member, M. Guizani, M. Mohammadi, and S. Member, "Internet of Things : A Survey on Enabling," vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015.

[7] S. Li, L. Da Xu, and S. Zhao, "The internet of things: a survey," Inf. Syst. Front., vol. 17, no. 2, pp. 243–259, 2015.

[8] D. Miorandi, S. Sicari, F. De Pellegrini, and I. Chlamtac, "Internet of things: Vision, applications and research challenges," Ad Hoc Networks, vol. 10, no. 7, pp. 1497–1516, 2012.

[9] A. Dhumane, "Routing Challenges in Internet of Things", CSI Communications, no. January, pp. 19–20, 2015.

[10] A. Dhumane, R. Prasad, and J. Prasad, "Routing Issues in Internet of Things : A Survey," Lect. Notes Eng. Comput. Sci. Proc. Int. MultiConference Eng. Comput. Sci., vol. 1, pp. 404–412, 2016.

[11] M. Afrashteh and S. Babaie, "A route segmented broadcast protocol based on RFID for emergency message dissemi-nation in vehicular ad-hoc networks ," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 69, pp. 16017–16026, 2020.

[12] M. S. Pan and S. W. Yang, "A lightweight and distributed geographic multicast routing protocol for IoT applications," Comput. Networks, vol. 112, pp. 95–107, 2017.

[13] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks P &,IEEE International Conference on system sciences, 2000, Maui, USA.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.61186/jsdp.21.1.3]

[14] P. Sivakumar and M. Radhika, “Science-Direct ScienceDirect Performance Analysis of LEACH-GA over LEACH and LEACH-C in WSN,” Procedia Comput. Sci., vol. 125, pp. 248–256, 2018.
[15] H. B. Patel, “E-LEACH : Improving the LEACH Protocol for Privacy Preservation in Secure Data Aggregation in Wireless Sensor Networks.”, IEEE, 2014 9th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS),10.1109/ ICIINFS.2014.703 6607.
[16] V. Loscrì, G. Morabito, and S. Marano, “A Two-Levels Hierarchy for Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (TL-LEACH),” October, 2005.
[17] M. B. Yassein, A. Al-zou, Y. Khamayseh, and W. Mardini, “Improvement on LEACH protocol of wireless sensor network (VLEACH) Improvement on LEACH Protocol of Wireless Sensor Network,” 10.4156/vol3January, 2009.
[18] S. B. Shah, C. Zhe, Y. Fuliang, I. U. Khan, and N. Ahmad, “Energy and interoperable aware routing for throughput optimization in clustered IoT-wireless sensor networks,” Futur. Gener. Comput. Syst. 10.1016/j.future.2017.09.043, 2017.
[19] J. Y. Chang, “A Distributed Cluster Computing Energy-Efficient Routing Scheme for Internet of Things Systems,” Wirel. Pers. Commun., vol. 82, no. 2, pp. 757–776, 2015.
[20] T. Qiu, Y. Lv, F. Xia, N. Chen, J. Wan, and A. Tolba, “ERGID: An efficient routing protocol for emergency response Internet of Things,” J. Netw. Comput. Appl., vol. 72, no. August, pp. 104–112, 2016.



فرناز راسخی تحصیلات کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را به‌ترتیب در رشته‌های مهندسی کامپیوتر گرایش نرم افزار و فناوری اطلاعات گرایش شبکه‌های کامپیوتری در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۷ در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز گذرانده است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه وی شبکه‌های کامپیوتری، اینترنت اشیا و مسیریابی است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

farnaz.rasekhi@gmail.com



شهرام بابائی دانشیار گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز است.. او عضو کمیته علمی بیش از ۱۵۰ کنفرانس بین‌المللی و عضو هیئت تحریریه بیش از ۱۵ مجله بین‌المللی است. همچنین ایشان **Handling Editor** مجلات **SCN** و **IJCIT** است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

sh.babaie@iaut.ac.ir

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.61186/jsdp.21.1.3]

[DOI: 10.61186/jsdp.21.1.3] [Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]