Energy Aware Routing in the Internet of Things using improved Grasshopper Metaheuristic Algorithm

M. Mir, M. Yaghoobi*, M. kheirabadi

*Associate Professor, Department of Computer Engineering, Neyshabur Branch, Islamic Azad University, Neyshabur, Iran

(Received: 28/01/2021, Accepted: 19/06/2021)

ABSTRACT

In most Internet of Things (IoT) applications, network nodes are limited in terms of energy source. Therefore, the need for innovative methods to eliminate energy loss which shortens the life of networks is fully felt in such networks. One of the optimization techniques of energy consumption on the Internet of things is efficient energy routing that the required energy can be reduced by choosing an optimal path. In this paper, an informed or efficient energy approach is proposed for routing on the Internet of Things in which focus is on the sleep-wake schedule of nodes; therefore, a new optimization algorithm called chaos fuzzy grasshopper optimization algorithm was used. In chaos fuzzy grasshopper algorithm, the initial population of grasshoppers is generated by Lorenz chaos theory and the input and output parameters of the algorithm are adjusted by fuzzy approach. To evaluate the efficiency of the proposed method, three criteria of evaluation of remaining energy, network life and coverage rate were used. Investigating the findings in two different scenarios (efficiency over time and efficiency per number of different nodes) showed that the proposed method always is better than the base methods in all scenarios and for all performance evaluation criteria. So that in the study of the death of 30% of nodes which indicates the life of the network, results showed that the proposed method of the paper (FLGOA) has 9% better efficiency than FGOA, 12% better than GOA and 16% better than GSO. Also, the findings about the remaining energy of the network showed that the proposed method has 16% better efficiency than FGOA method, 21% better than GOA and 22% better than GSO. Finally, studies in the coverage rate evaluation criterion showed that the proposed method has 12% coverage rate better than FGOA method, 15% better than GOA and 16% better than GSO.

Keywords: Routing, Internet of Things, Chaos Theory, Fuzzy Logic, Grasshopper Optimization Algorithm.

*Corresponding Author Email: Yaghoobi@mshdiau.ac.ir

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

نشریه علمی "پدافند الکترونیکی و سایبری"
سال یازدهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، ص ۱۵-۲۹

علمی – پژوهشی

مسیریابی آگاه از انرژی برای اینترنت اشیا با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ملخ بهبودیافته

معصومه میر[۱]، مهدی یعقوبی[۲*]، مریم خیرآبادی[۳]

۱- دانشجوی دکترا، ۲- دانشیار، ۳- استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۱، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۸)

چکیده

مصرف انرژی در فرایند مسیریابی یکی از چالش‌های مهم در اینترنت اشیا است؛ چراکه گره‌های شبکه از نظر منبع انرژی با محدودیت مواجه هستند. لذا ارائه الگوریتم‌های مسیریابی آگاه از انرژی همواره موردتوجه بوده است. یکی از روش‌هایی که در این حوزه عملکرد قابل قبولی از خود نشان داده است، طرح مسئله در قالب مسائل بهینه‌سازی است. در این مقاله یک رویکرد آگاه از انرژی برای مسیریابی در اینترنت اشیا پیشنهاد گردیده که در آن از الگوریتم بهینه‌سازی ملخ بهبودیافته با تئوری آشوب برای زمان‌بندی خواب‌وبیدار گره‌ها استفاده شده است. برای بررسی کارایی روش پیشنهادی از سه معیار ارزیابی انرژی باقیمانده، طول عمر شبکه و نرخ پوشش استفاده شد. بررسی یافته‌ها در دو سناریو مختلف (کارایی در طول زمان و کارایی به‌ازای تعداد گره‌های مختلف) نشان داد که روش پیشنهادی همواره در تمامی سناریوها و به‌ازای همه معیارهای ارزیابی کارایی بهتری نسبت به طرح‌های پایه دارد.

کلیدواژه‌ها: مسیریابی، اینترنت اشیا، مصرف انرژی، تئوری آشوب، الگوریتم بهینه‌سازی ملخ

۱- مقدمه

اینترنت اشیا[1] شبکه‌ای از تجهیزات الکترونیکی و حسگرهای متصل‌به‌هم به‌منظور تبادل اطلاعات با یکدیگر است که باهدف سنجش و کنترل از راه دور استفاده می‌شود [۱]. در این شبکه برای هر موجود یا شی قابلیت ارسال داده از طریق شبکه‌های ارتباطی، اعم از اینترنت یا اینترانت، فراهم می‌شود و می‌توان توسط اپلیکیشن‌های موجود مجموعه‌ای از سیستم‌ها را به صورت خودکار و هوشمند کنترل و مدیریت کرد. اینترنت اشیا از چندین فناوری دیگر نظیر شبکه حسگر بیسیم[2]، ارتباطات ماشین به ماشین[3]، روباتیک، فناوری‌های اینترنت، دستگاه‌های هوشمند و غیره استفاده می‌کند [۲، ۳]. شکل (۱) یک ساختار عمومی برای اینترنت اشیا را معرفی می‌کند.

مهم‌ترین مزیت همه‌گیر شدن اینترنت اشیا، قابلیت اتصال انواع اشیا و وسایل به دنیای مجازی است به عبارت دیگر، هر چیزی از جمله اشیا بی‌جان، برای خود هویت دیجیتال داشته باشند و به کامپیوترها اجازه دهند آن‌ها را سازماندهی و مدیریت کنند [۴]. این فناوری بر اساس معماری لایه ای، ارتباط اینترنتی بین دستگاه‌های فیزیکی شبکه‌های ناهمگن را ممکن می‌سازد [۵]. لایه‌ها در این معماری نیازمندی‌های یکدیگر را فراهم کرده و تعامل آن‌ها با یکدیگر نیز بر کارایی کل شبکه تأثیر می‌گذارند [۶]. اتحادیه بین‌المللی ارتباطات یکی از مراجع جهانی در حوزهٔ ارتباطات، به طراحی معماری اینترنت اشیا شکل (۲) اقدام کرده است این معماری با لایه‌های کاربردها، پشتیبانی، شبکه‌ها به کمک قابلیت‌های مدیریتی و امنیتی و با استفاده از کاربردها و وسیله ها اینترنت اشیا به توسعه شهر هوشمند، حمل و نقل هوشمند، ساختمان هوشمند، انرژی هوشمند، صنعت هوشمند، سلامت هوشمند و زندگی هوشمند کمک می‌کند [۷]. همان طور که در این مدل معماری اینترنت اشیا مشاهده می‌شود، کاربردهای اینترنت اشیا می‌توانند به افزایش هوشمندی سلامت در جامعه منجر شوند [۸].

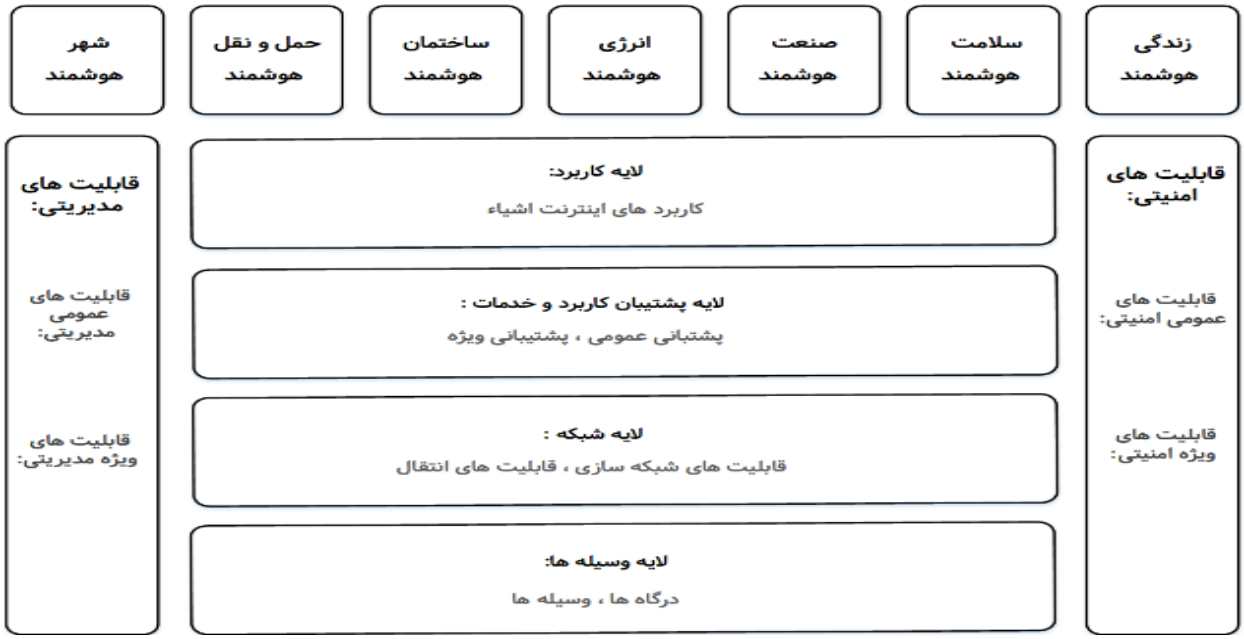
شکل (۱). ساختار عمومی اینترنت اشیا

* رایانامه نویسنده مسئول: Yaghoobi@mshdiau.ac.ir

[1] Internet of Things (IOT)
[2] Wireless Sensor Network
[3] Machine to Machine

* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز *Creative Commons Attribution* (CC BY) توزیع شده است.
© نویسندگان
ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

قابلیت ارسال داده در این نوع فناوری از طریق شبکه‌های پایه‌ای در اینترنت اشیا است که یک حوزه محبوب تحقیقاتی اعم از مانیتورینگ، کنترل محیط، مراقبت بدن و کاربردهای نظامی است [۹]. لزوم به کارگیری و مشارکت گره‌های میانی در ارسال داده میان مبدأ و مقصد در شبکه‌های مبتنی بر حسگر بیسیم و تعیین اینکه کدامیک از این گره‌ها بایستی در ارسال داده‌ها میان مبدأ و مقصد شرکت کنند موجب به وجود آمدن شیوه‌های گوناگون ارسال داده‌ها و به تبع آن الگوریتم‌های مسیریابی متفاوتی در این شبکه‌ها شده است [۱۰]. مسیریابی در شبکه‌های بزرگ اساسا یک چالش است به طوری که الگوریتم مطرح شده بایستی میان نیازمندی‌های طراحی از قبیل صنعت، پایداری، بهینگی و غیره باتوجه‌به معیارهای مختلف کارایی تعادل برقرار کند. با وجود پیشرفت‌های صورت گرفته در این نوع شبکه‌ها، گره‌های شبکه به دلیل تعداد زیاد، اندازه کوچک و روش قرارگیری اقتضایی، هنوز هم برای تامین انرژی خود، متکی به باتری‌هایی با توان اندک می‌باشند [۱۱]. اینترنت اشیا ایده آل باید انرژی کمی مصرف کند و برنامه‌ریزی هوشمندانه‌ای داشته باشد و قادر باشد داده‌ها را به سرعت و با دقت و در طی زمان طولانی دریافت کرده و هزینه نصب آن ارزان بوده و نیاز به تعمیر و نگهداری هم نداشته باشد [۱۲]. لذا می‌توان گفت که انتقال اطلاعات باتوجه‌به محیط ناهمگون اینترنت اشیا، امری چالش برانگیز بوده و استفاده از روش‌های مسیریابی با در نظر گرفتن محدودیت‌های پردازش، انرژی محاسبه، ذخیره سازی و ارتباط امری ضروری شناخته شده است [۱۳]. جدول (۱) چالش‌های مسیریابی در اینترنت اشیا را معرفی کرده است.



شکل (۲). مدل لایه‌ای معماری اینترنت اشیا

جدول (۱). چالش‌های مسیریابی در اینترنت اشیا

چالش	توضیحات
توزیع گره‌های شبکه	در شبکه‌های مبتنی بر حسگر بیسیم به دلیل استقرار تصادفی گره‌ها و در اینترنت اشیا به دلیل پشتیبانی از تحرک گره‌ها، مقوله ثبات و نگهداری توپولوژی شبکه یک چالش بدیهی است.
ناهمگونی ابزارها	ابزارها و وسایلی که در اینترنت اشیا مورداستفاده قرار می‌گیرد به لحاظ کاربرد و استانداردهای شبکه متفاوت‌اند. اغلب این ابزارها از جهت نوع منابع نیز تفاوت‌هایی با یکدیگر دارند و برخی از محدودیت منابع رنج می‌برند.
تنوع استانداردهای شبکه	اینترنت اشیا فناوری‌های مختلفی چون شبکه‌های سنتی، شبکه حسگر بیسیم، استاندارد زیگبی، وای‌فای و مواردی ازاین‌دست را دربرگرفته است. هر یک از شبکه‌های ذکرشده اصول کاری خود را داشته و از پشته پروتکل متفاوت از سایرین استفاده می‌کند.
اتصال متناوب	باتوجه‌به عمر محدود باطری گره‌های شبکه، همیشه خطر تغییر در توپولوژی شبکه ساختار اینترنت اشیا را تهدید می‌کند. اتصال متناوب می‌تواند در زیرساخت متحرک گره‌های شبکه رخ دهد که اتصال و قطع‌شدن را به‌صورت دوره‌ای و یا دائمی در برخواهد داشت.
ارتباطات چندگامه	اغلب دستگاه‌ها و ابزارهای مورداستفاده در اینترنت اشیا با توان اندک هستند. این تجهیزات دارای توان پردازشی، برد رادیویی و انرژی اندک هستند. پس امر انتقال چندگامه اطلاعات از مبدأ به مقصد امری بدیهی به نظر می‌رسد.

چالش	توضیحات
تحمل‌پذیری خطا	تحمل‌پذیری خطا در شبکه مبدل یک ملاک مهم در اینترنت اشیا است. لذا بسیاری از پروتکل‌های مسیریابی در این حوزه پشتیبانی این امر را ضروری شمرده تا در مواجهه با رویدادهای غیرمنتظره عملکرد خود را حفظ کنند.
امنیت	به‌واسطه تفاوت تجهیزات اینترنت اشیا با کامپیوترهای سنتی و تجهیزات رایانشی، چالش‌های امنیتی متفاوتی در اینترنت اشیا مطرح می‌شود. در این میان احراز هویت گام‌به‌گام نیز به‌تنهایی نمی‌تواند امنیت را تضمین کند. مدل‌های رمزنگاری و سازوکار اعتماد نیز تا حدی می‌توانند کارا باشند اما مسئله امنیت در اینترنت اشیا هنوز حل نشده، باقیمانده است.
آگاهی از محتوا	در حوزه محیط آگاه از محتوا، سیستم از اطلاعات محتوایی برای انجام تغییرات لازم در مسیریابی بهره می‌برد.

هر یک از چالش‌های مطرح شده در جدول (۱) در جایگاه خود اهمیت ویژه‌ای دارند. ولی در این میان مسیریابی‌های آگاه از انرژی بیشتر توجه پژوهشگران را به خود معطوف کرده‌اند. در این مقاله بر چالش انرژی تمرکز شده است و یک پروتکل آگاه از انرژی برای انتقال داده در اینترنت اشیا پیشنهاد شده است.

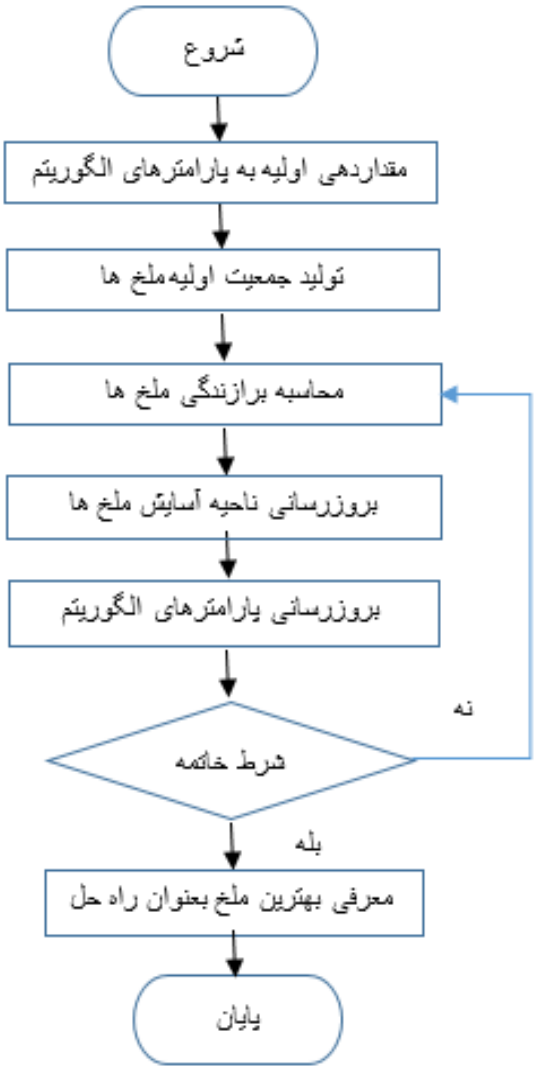
مسیریابی و مبادلات داده در اینترنت اشیا باتوجه‌به ماهیت توزیع شده، محدودیت‌های ارتباطی، مبادلات چندگامی، اتصالات بی‌سیم و غیره، از اساسی‌ترین مباحث مرتبط با این شبکه‌ها به شمار رفته و در نحوه عملکرد و میزان کارایی آن نقش حیاتی ایفا می‌کند [۵]. این در صورتی است که به علت تغییرات توپولوژی شبکه و محدودیت‌های گسترده، مسیریابی در این فناوری ارتباطی متمایز از سایر شبکه‌های بیسیم است. فرایند کشف مسیر باید به گونه ای انجام شود که گره‌هایی که انرژی بیشتری دارند در مسیریابی شرکت کنند [۱۴]. لذا استفاده از یک پروتکل مسیریابی آگاه از انرژی می‌تواند طول عمر را افزایش دهد. رویکردهای مختلفی برای مسیریابی آگاه از انرژی در اینترنت اشیا پیشنهاد شده است. رویکردهای مبتنی بر ناحیه بندی، ساختار درختی، استنتاج فازی، نظریه بازی و غیره از رویکردهای مطرح در این حوزه هستند. اما در میان الگوریتم‌های موجود، روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های بهینه‌سازی یک رویکرد محبوب بشمار می‌آید چون نسبت به دیگر الگوریتم‌ها در رسیدن به اهداف موفق بوده‌اند. بر همین اساس در این مقاله مسئله مسیریابی آگاه از انرژی به‌عنوان یک مسئله بهینه‌سازی در نظر گرفته شده است که برای حل آن از یک الگوریتم بهینه‌سازی کارآمد استفاده می‌شود. اما الگوریتم انتخابی باید بگونه ای باشد که در بهینه‌های محلی کمتر گرفتار شود و توانایی تولید راه حل در شرایط پویای محیط اینترنت اشیا را داشته باشد. الگوریتم‌های بهینه‌سازی مختلفی برای حل مسائل گوناگون پیشنهاد شده‌اند. در این میان الگوریتم بهینه‌سازی ملخ یک الگوریتم کارآمد بشمار می‌آید که در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های بهینه‌سازی توانسته است در مسائل مختلف تک هدفه و چندهدفه کارایی بالایی از خود نشان دهد. اما بررسی‌ها نشان داده که این الگوریتم نیز گاها در بهینه‌های محلی گرفتار می‌شود. برای افزایش قابلیت این الگوریتم در فاز اکتشاف و گرفتار نشدن در بهینه‌های محلی، در این مقاله نسخه ای بهبودیافته از آن برای مسئله انتخاب مسیر آگاه از انرژی در اینترنت اشیا پیشنهاد شده است. مقاله حاضر شامل شش بخش است که در آن پس از معرفی اینترنت اشیا و معماری آن، مسیریابی در اینترنت اشیا مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه پس از مروری بر کارهای پیشین روش پیشنهادی ارائه می‌شود و کارایی آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و در پایان پیرامون یافته‌های مقاله بحث و جمع بندی انجام شده است.

۲- الگوریتم بهینه‌سازی ملخ

الگوریتم بهینه‌سازی ملخ از چرخه حیات ملخ الهام گرفته است که در آن ملخ ماده پس از بالغ‌شدن تخم‌گذاری می‌کند و هر ملخ ناحیه‌ای را برای این منظور در نظر دارد که به آن ناحیه آسایش گفته می‌شود [۱۵].

الگوریتم ملخ به طور ذاتی فرایند اکتشاف قوی‌تری دارد [۱۶]. در این الگوریتم از نیروی دفع برای فرایند اکتشاف و از نیروی جذب ملخ‌ها برای فرایند استخراج استفاده می‌شود. فرایند اکتشاف و استخراج در این الگوریتم باتوجه‌به تکرارهای الگوریتم تنظیم می‌شود. در نسل‌های ابتدایی الگوریتم اکتشاف بالاتر بوده و در انتها استخراج تقویت می‌شود. معادله استفاده شده برای تنظیم اکتشاف و استخراج که منجر به کاهش ناحیه آسایش ملخ می‌شود از پارامترهای مهم این الگوریتم است. همچنین الگوریتم بهینه‌سازی ملخ دارای مکانیسم جستجوی قوی در فضای مسئله است. بررسی‌ها نشان داده که الگوریتم ملخ در بهینه‌سازی توابعی با ابعاد بالا از دقت بالایی برخوردار است [۱۵]. این امر به علت حرکت دسته جمعی ملخ‌ها به ناحیه ای از فضا که بهینه سراسری در آن منطقه است، رخ می‌دهد. وابستگی این الگوریتم به تعداد عوامل جستجو و از طرفی حرکت دسته جمعی ملخ‌ها به ناحیه بهتر فضای جستجو باعث می‌شود برخی از نقاط فضای جستجو (درصورتی که عامل‌های جستجو کم باشند) بدرستی اکتشاف نشود و این باعث همگرایی زودرس به بهینه محلی خواهد بود. در این الگوریتم تعداد عامل‌ها تا انتهای تکرار الگوریتم ثابت است که این امر باعث بالا بردن تعداد ارزیابی تابع خواهد بود. یکی از پارامتر مهم این الگوریتم ناحیه آسایش است که بصورت خطی و باتوجه‌به تکرارهای الگوریتم کاهش می‌یابد و در آن میزان

همگرایی و وضعیت ملخ‌ها در فضای جستجو لحاظ نشده است که باعث بالا رفتن تعداد ارزیابی‌های تابع و سرعت پایین در همگرایی می‌شود. شکل (۳) ساختار الگوریتم ملخ را نمایش می‌دهد.



شکل (۳). فلوچارت الگوریتم ملخ

۳- کارهای پیشین

در [۱۷] پژوهشگران یک پروتکل مسیریابی آگاه از انرژی ارائه کرده‌اند که مبتنی بر ساختار درخت است و با استفاده از سینک متحرک[4] توانایی کاهش تاخیر انتها به انتها را در شبکه‌های اینترنت اشیا را دارد. در این مقاله دو مکانیسم جدید برای مسیریابی معرفی شده است. مکانیسم اول نسخه بهبودیافته الگوریتم مسیریابی جغرافیایی است که می‌تواند قابلیت اطمینان و مصرف انرژی شبکه را بهبود دهد. مکانیسم دوم یک رویکرد مبتنی بر ساختار درخت است که با حداقل تعداد بسته‌های کنترلی سعی در مدیریت مصرف انرژی شبکه دارد. بررسی یافته‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم مسیریابی پیشنهادی مقاله از نظر مصرف انرژی، طول عمر شبکه، تأخیر انتها به انتها و توان مصرفی نسبت به الگوریتم‌های مشابه دیگر بهتر عمل می‌کند.

در [۱۸] یک پروتکل مسیریابی آگاه از انرژی مبتنی بر خوشه‌بندی و الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه برای شبکه‌های مبتنی بر حسگر پیشنهاد شده است. در این مقاله خوشه‌بندی شبکه و کشف مسیر برای انتقال داده براساس شاخص‌هایی مانند انرژی، ازدحام و فاصله خوشه تا مقصد انجام می‌شود. همچنین سر خوشه‌ها نیز بر اساس حداکثر انرژی باقیمانده، حداقل فاصله با خوشه‌های دیگر و انرژی مصرف شده انتخاب می‌شوند. پس از انتخاب سرخوشه‌ها، شروط کوتاه‌ترین مسیر، کمترین فاصله تا گره مبدأ و گره مقصد برای فرایند مسیریابی اعمال می‌شود. بررسی یافته‌ها نشان می‌دهد که پس از حدود ۵۰ دور اجرا، به‌صورت متوسط فقط ۱۹,۴ درصد از انرژی اولیه مصرف شده است.

در [۱۹] یک رویکرد مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک بهبودیافته با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای مسیریابی آگاه از انرژی در اینترنت اشیا معرفی شده است. این الگوریتم سعی دارد با زمان‌بندی خواب‌وبیدار بهینه گره‌ها مصرف انرژی در شبکه را کاهش دهد. پژوهشگران در [۱۹] پس از زمان‌بندی فعال و غیرفعال بودن گره‌ها، مسیریابی در شبکه را بر اساس الگوی کوتاه‌ترین مسیر انجام داده‌اند. بررسی یافته‌ها و نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که رویکرد استفاده شده در این مقاله در مقایسه با کارهای مشابه کارایی مطلوب تری داشته است. قابل ذکر است مقاله [۱۹] به‌عنوان روش پایه در پژوهش حاضر در نظر گرفته شده است.

در [۱۹] پژوهشگران با بهره‌گیری رویکرد فرا اکتشافی یک روش جدید برای مسیریابی و کاهش مصرف انرژی در اینترنت اشیا پیشنهاد کرده اند. آن‌ها برای این منظور یک تابع چند هدفه و جدید برای محاسبه برازندگی جمعیت اولیه در الگوریتم بهینه‌سازی استفاده کرده‌اند. تابع هدف جدید ترکیبی از پارامترهای مصرف انرژی گره‌ها و افزایش طول عمر شبکه و در عین حال نرخ تحویل بسته است. بررسی یافته‌ها و نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد روش پیشنهادی این مقاله مصرف انرژی در محیط اینترنت اشیا را بهبود داده و افزایش نرخ تحویل بسته در شبکه، طول عمر شبکه را نیز بهبود می‌دهد.

در [۲۰] یک پروتکل مسیریابی آگاه از انرژی برای اینترنت اشیا ارائه شده است. پروتکل پیشنهادی در این مقاله سه پارامتر را برای انتخاب مسیر بهینه در نظر می‌گیرد. این سه عامل طول عمر، قابلیت اطمینان و ترافیک بار در گره هاپ است. پژوهشگران برای پیاده‌سازی

[4] Mobile Sink

روش پیشنهادی خود از محیط شبیه‌سازی *NS-2* استفاده کرده‌اند. بررسی یافته‌ها نشان می‌دهد که پروتکل پیشنهادی نسبت در شاخص‌هایی مانند مصرف انرژی، نرخ تحویل بسته، تأخیر پایان به پایان و طول عمر شبکه کارایی بهتری نسبت به سایر پروتکل‌ها دارد.

در [۲۱] یک پروتکل مسیریابی آگاه از انرژی مبتنی بر خوشه‌بندی و الگوریتم بهینه‌سازی کلونی زنبور عسل مصنوعی برای اینترنت اشیا پیشنهاد شده است. در این مقاله انرژی سر خوشه، تراکم سر خوشه، محل قرارگیری سرخوشه و سایر عوامل مشابه در تابع برازندگی الگوریتم بهینه‌سازی لحاظ شده و بر اساس آن یک خوشه‌بندی بهینه برای شبکه ارائه می‌شود. همچنین در فاز بعدی و فرایند انتقال داده (بین سر خوشه و ایستگاه پایه) پژوهشگران مجددا الگوریتم بهینه‌سازی کلونی زنبور عسل را با در نظر گرفتن انرژی و توان شبکه بکارگیری کرده اند. بررسی یافته‌ها نشان می‌دهد که پروتکل پیشنهادی مقاله در مقایسه با تعدادی از پروتکل‌های مشابه که اخیرا معرفی شده اند، عملکرد بهتری در مسیریابی و مدیریت مصرف انرژی دارد.

در [۲۱] پژوهشگران با استفاده از رویکرد خوشه‌بندی و الگوریتم بهینه‌سازی ماهی دریایی[5] یک پروتکل جدید برای بهبود مسیریابی و انتقال داده در اینترنت اشیا پیشنهاد داده‌اند. در این الگوریتم نخست سرخوشه‌ها به‌صورت بهینه توسط الگوریتم بهینه‌سازی انتخاب شده و در ادامه شبکه خوشه‌بندی می‌شود. سپس فاز انتقال داده بین سرخوشه و سینک اعمال می‌شود. بررسی یافته‌ها نشان می‌دهد که روش پیشنهادی پژوهشگران در این مقاله نسبت به رویکردهای مشابه در شاخص‌هایی همانند انرژی و طول عمر شبکه بهتر عمل می‌کند.

در [۲۲] یک رویکرد کارآمد به لحاظ انرژی و احتمالی برای مسیریابی احتمالی در اینترنت اشیا با نام *EEPR* معرفی شده است. روش پیشنهادی در این مقاله به منظور افزایش طول عمر شبکه و کاهش تلفات بسته، فرایند مسیریابی را به‌صورت تصادفی کنترل می‌کند. الگوریتم *EEPR* با استفاده همزمان از انرژی باقیمانده و پارامتر *ETX* در پروتکل *AODV*، انرژی شبکه کنترل بررسی می‌کند. بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی این مقاله نسبت به کارهای مشابه دارای طول عمر شبکه بیشتری است. اما در باب مقایسه با پروتکل مسیریابی *AODV*، یافته‌ها حکایت از آن دارد که انرژی باقیمانده گره‌ها با روش مقایسه شده برابر است.

در [۲۳] پژوهشگران یک مکانیسم مبتنی بر خوشه‌بندی و الگوریتم بهینه‌سازی زنبورعسل مصنوعی برای مسیریابی در اینترنت اشیا پیشنهاد داده‌اند. این پروتکل شامل دو فاز کلی است. در فاز اول با بهره‌گیری از الگوریتم بهینه‌سازی، سرخوشه‌ها با لحاظ شاخص‌هایی همچون انرژی حسگرها، تعداد همسایگان، فاصله اقلیدسی بین حسگرها و سینک و نهایتاً فاصله اقلیدسی بین هر حسگر و همسایگان به‌صورت بهینه انتخاب می‌شود. سپس شبکه خوشه‌بندی شده و در ادامه فرایند انتقال داده از سرخوشه تا سینک انجام می‌شود. بررسی یافته‌ها نشان می‌دهد که پروتکل پیشنهادی این مقاله توانسته است در مقایسه با کارهای مشابه، مصرف انرژی، طول عمر و تأخیر انتقال را بهبود دهد.

در [۲۴] یک پروتکل مسیریابی آگاه از انرژی جدید در محیط اینترنت اشیا با عنوان *NLEE* معرفی گردیده است. پژوهشگران برای رسیدن به اهداف پژوهشی خود در این مقاله از محیط نرم افزاری *C++* استفاده کرده و یافته‌های حاصل از اجرای آزمایش‌ها نشان می‌دهد که رویکرد پیشنهادی مقاله در مقایسه با روش‌های پایه مصرف انرژی را در محیط اینترنت اشیا بهبود داده است.

بررسی کارهای پیشین نشان می‌دهد که پژوهشگران برای بهبود مسیریابی و کاهش مصرف انرژی در اینترنت اشیا، رویکردهای مختلفی را به‌کارگیری کرده‌اند اما در بین پروتکل‌های مختلف، رویکردهای مبتنی بر الگوریتم‌های فراابتکاری پویایی بیشتری نسبت به دیگر رویکردها داشته و نتایج بهتری را ارائه داده‌اند. بر همین اساس بیشتر موردتوجه قرار گرفته‌اند. جدول (۲) یک مقایسه اجمالی از کارهایی که اخیراً در این حوزه انجام‌یافته را نشان می‌دهد.

رویکردهای مبتنی بر الگوریتم‌های فراابتکاری با اینکه نتایج مطلوبی را نسبت به دیگر الگوریتم‌ها ارائه داده‌اند ولی گاها ممکن است در بهینه‌های محلی گرفتار شوند. لذا ضرورت دارد در استفاده از این الگوریتم‌ها به‌گونه‌ای اقدام کرد که پروتکل در بهینه‌های محلی گرفتار نشود.

۴- روش پیشنهادی

هدف اصلی این مقاله بهبود فرایند مسیریابی در اینترنت اشیا و کاهش مصرف انرژی است. رویکردهای مختلفی برای این منظور پیشنهاد شده است اما بررسی کارهای مشابه در این حوزه نشان می‌دهد که یکی از روش‌های مؤثر در این حوزه، رویکردهای مبتنی بر الگوریتم‌های فراابتکاری است. در روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های فراابتکاری، پژوهشگران مسئله مسیریابی را به الگوریتم بهینه‌سازی نگاشت کرده و برای چالش‌های موجود راه‌حل ارائه می‌دهند. اما در روش پیشنهادی فرایند بهینه‌سازی در دوفاز مستقل انجام می‌گیرد. در فاز اول با زمان‌بندی خواب‌وبیدار گره‌ها، تلاش می‌شود طول عمر حسگرها افزایش

[5] Sailfish optimization Algorithm

یابد. نتیجه این امر صرفه‌جویی در انرژی مصرفی است. در فاز دوم نیز با بهره‌گیری از یک الگوریتم بهینه‌سازی کارآمد در حوزه مسیریابی، کوتاه‌ترین مسیر برای انتقال داده انتخاب می‌شود. اما باید در نظر داشت که استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی، علی‌رغم مزیت‌های فراوان، محدودیت‌هایی نیز دارد. به‌نحوی‌که انتخاب الگوریتم نامناسب می‌تواند مسئله طرح‌ریزی‌شده برای مسیریابی را در بهینه‌های محلی گرفتار کرده و نتایج مطلوب حاصل نشود. لذا انتخاب الگوریتم مناسب یک گام مهم در روش پیشنهادی است. با مطالعه الگوریتم‌های بهینه‌سازی مشخص گردید که الگوریتم بهینه‌سازی ملخ که اخیراً معرفی شده یک الگوریتم بهینه‌سازی کارآمد بوده و در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های بهینه‌سازی نتایج مطلوبی در مسائل پیوسته و گسسته از خود نشان داده است.

الگوریتم بهینه‌سازی ملخ با جمعیت اولیه‌ای (ملخ‌ها) که به‌صورت تصادفی در فضای جستجو پراکنده هستند کار خود را آغاز می‌کند. ماهیت تصادفی جمعیت اولیه ممکن است باعث شود تمام فضای جستجو مورد جستجو قرار نگیرد. در روش پیشنهادی برای بهبود فرایند جستجو از تئوری آشوب استفاده شده و یک الگوریتم جدید با عنوان بهینه‌سازی ملخ آشوبگون معرفی گردیده است.

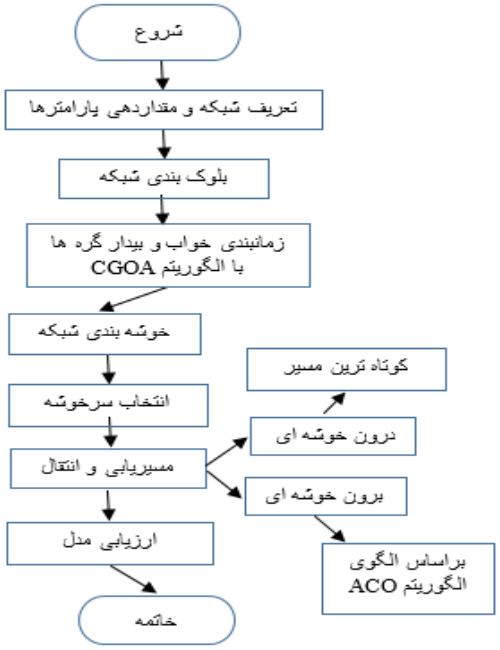
شکل (۴) ساختار کلی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

جدول (۲). مقایسه کارهای پیشین در حوزه مسیریابی آگاه از انرژی در اینترنت اشیا

مقاله	رویکرد			محاسن	معایب
	Clustering	Optimization	*Other*		
[۱۷]	×	×	✓	بهبود مصرف انرژی، افزایش طول عمر شبکه و کاهش تأخیر انتها به انتها	مصرف زیاد حافظه و کاهش کارایی در شبکه‌هایی با مقیاس بزرگ
[۱۸]	✓	✓	×	بهبود مصرف انرژی	گرفتار شدن در بهینه‌های محلی
[۱۹]	×	✓	✓	بهبود مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه	گرفتار شدن در بهینه‌های محلی و مصرف زیاد حافظه
[۱۹]	×	×	✓	بهبود مصرف انرژی، افزایش نرخ تحویل بسته، کاهش تأخیر و طول عمر شبکه	پیچیدگی محاسباتی بالا
[۱۹]	✓	✓	×	بهبود انرژی، افزایش نرخ تحویل بسته و کاهش تأخیر	گرفتار شدن در بهینه‌های محلی
[۲۰]	✓	✓	×	بهبود مصرف انرژی	گرفتار شدن در بهینه‌های محلی
[۲۱]	✓	✓	×	بهبود مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه	گرفتار شدن در بهینه‌های محلی
[۲۲]	×	×	✓	افزایش طول عمر شبکه	مصرف زیاد حافظه
[۲۳]	✓	✓	×	بهبود مصرف انرژی، افزایش طول عمر شبکه و کاهش تأخیر انتها به انتها	گرفتار شدن در بهینه‌های محلی
[۲۴]	×	×	✓	بهبود مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه	پیچیدگی محاسباتی بالا

در شکل (۴) عبارت CGOA معرف الگوریتم بهینه‌سازی ملخ بهبودیافته و عبارت ACO معرف الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه است که در فاز دوم روش پیشنهادی استفاده می‌شود.

در روش پیشنهادی پس از بلوک‌بندی شبکه، تعدادی از گره‌ها در هر بلوک توسط الگوریتم بهینه‌سازی ملخ آشوبگون غیرفعال می‌شود. یعنی الگوریتم بهینه‌سازی عمل زمان‌بندی خواب‌وبیدار را انجام می‌دهد. در این راستا گره‌هایی که در یک ناحیه هستند بر اساس قدرت سیگنال می‌توانند نواحی یکسانی را پوشش دهند به حالت خواب می‌روند. الگوریتم ملخ بهبودیافته به دنبال آن خواهد بود که با انتخاب مناسب گره‌های فعال و غیرفعال (خواب)، شبکه همواره بیشترین میزان پوشش را داشته باشد. پس از زمان‌بندی خواب‌وبیدار گره‌ها، شبکه خوشه‌بندی شده و در گام بعد گره‌های سرخوشه انتخاب می‌شود. فرایند انتخاب سرخوشه در روش پیشنهادی دوره‌ای است. یعنی در هر دور یک گره به‌عنوان سرخوشه معرفی می‌شود. نهایتاً در گام آخر فرایند مسیریابی انجام می‌شود که خود شامل دوفاز است. در فاز اول با رویکرد کوتاه‌ترین مسیر، بسته از مبدأ به سرخوشه متناظر ارسال شده و در فاز دوم با بهره‌گیری از الگوریتم کلونی مورچه، بسته بین سرخوشه‌ها با حداقل انرژی انتقال می‌شود تا به سینک برسد. نوآوری روش پیشنهادی به روش [۱۹] در فاز زمان‌بندی خواب‌وبیدار و فاز مسیریابی است.



شکل (۴). ساختار کلی پیشنهادی برای بهبود مسیریابی در اینترنت اشیا

۴-۱- تعریف شبکه و بلوک‌بندی آن

در این گام پس از تعریف محیط شبکه گره‌ها مقداردهی شده و محیط شبکه که در آن حسگرهای اینترنت اشیا قرار گرفته است به بلوک‌هایی بخش‌بندی می‌شود. بلوک‌بندی شبکه به نحوی است که تمامی بلوک‌ها از نظر اندازه و محیط باهم برابر باشند. جدول (۳) ویژگی‌های تعریف شده برای هر گره را در روش پیشنهادی معرفی می‌کند.

جدول (۳). ویژگی‌های تعریف شده برای هر گره

عنوان	توضیحات
انرژی	انرژی هر گره
وضعیت	فعال یا غیرفعال بودن گره
فاصله	فاصله گره از سینک
سرخوشه	وضعیت گره برای انتخاب سرخوشه
بلوک	شماره بلوک مربوط به گره
طول بلوک	مختصات طول مربوط به بلوک گره
عرض بلوک	مختصات عرض مربوط به بلوک گره

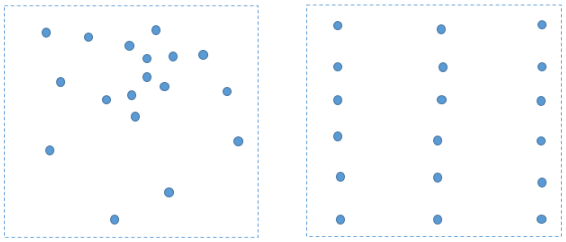
در سینک، داده‌های تولید شده از گره‌های حسگر به‌صورت بیسیم دریافت و به‌عنوان ایستگاه به کار می‌روند.

۴-۲- زمان‌بندی خواب‌وبیدار

در این گام با بهره‌گیری از الگوریتم بهینه‌سازی ملخ آشوبگون زمان‌بندی خواب‌وبیدار گره‌ها انجام می‌پذیرد. این گام از گام‌های اصلی در روش پیشنهادی به شمار می‌رود که با غیرفعال‌کردن بخشی از گره‌ها در محیط اینترنت اشیا مصرف انرژی شبکه را کاهش می‌دهد. در این گام زمان‌بندی خواب‌وبیدار گره‌ها به‌صورت یک مسئله بهینه‌سازی در نظر گرفته شده و برای آن راه‌حلی ارائه می‌شود. بر همین اساس لازم است در بخش اصلی الگوریتم بهینه‌سازی تغییراتی اعمال شود تا مسئله زمان‌بندی به الگوریتم بهینه‌سازی نگاشت شود. بخش اول تعریف جمعیت اولیه و بخش دوم تعریف تابع برازندگی است. توضیحات مربوط به این گام در ادامه به‌صورت مرحله‌به‌مرحله و بر اساس الگوی الگوریتم بهینه‌سازی ملخ آمده است.

۴-۲-۱- جمعیت اولیه

در روش پیشنهادی برای غلبه بر محدودیت اکتشاف در الگوریتم بهینه‌سازی ملخ از تئوری آشوب استفاده شده است. آشوب در لغت به معنای هرج‌ومرج و بی‌نظمی بوده و یک رفتار طولانی‌مدت غیر پریودیک در یک سیستم قطعی[6] است که وابستگی حساس به شرایط اولیه[7] را نشان می‌دهد. منظور از رفتار طولانی‌مدت غیرپریودیک در سیستم‌های دینامیکی آن است که مسیرهایی وجود دارند که وقتی زمان به بی‌نهایت میل می‌کند، مسیر این سیستم‌ها به نقاط ثابت، مسیرهای متناوب و یا مسیرهای شبه‌تناوبی منتهی نمی‌شوند. قطعی بودن، نیز گویای آن است که سیستم دارای پارامترها یا ورودی‌های تصادفی[8] نیست. ولی رفتار بی‌نظم این سیستم‌ها از غیرخطی‌بودن آن‌ها ناشی می‌شود. این اصطلاح در مقابل آماری– تصادفی[9] به کار می رود که منظور از آن نامنظم، کاتوره‌ای، نامعین و غیرقابل‌پیش‌بینی بودن رفتار سیستم است. مقایسه‌ای بین فرایند آشوبی و تصادفی در شکل (۵) آمده است.



شکل (۵). مقایسه فرایند تصادفی (سمت چپ) و آشوبی (سمت راست)

برای سیستم‌های آشوب، توابع مختلفی پیشنهاد شده است. یکی از توابع مشهور در این زمینه تابع لورنز است. رابطه (۱) نمونه‌ای از دینامیک مرتبه سوم آشوبناک را که به دینامیک لورنز مشهور است را نشان می‌دهد.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \sigma(y-x) \\ \dot{y} &= \rho x - y - xz \\ \dot{z} &= -\beta z + xy \end{aligned} \qquad (۱)$$

دینامیک لورنز که توسط هواشناسی به نام ادوارد لورنز در سال ۱۹۶۳ به‌دست‌آمده است، بیانگر جریان هم رفت در مایعاتی است که گرما از طریق منبعی به آن‌ها تزریق می‌شود. در این مقاله

[6] Deterministic
[7] Initial value
[8] Random
[9] Stochastic

الگوریتم بهینه‌سازی ملخ باتوجه‌به ماهیت گسسته روش پیشنهادی، گسسته‌سازی شده و سپس موقعیت ملخ‌ها توسط تابع آشوب لونز تولید و به‌صورت یک بردار مدل‌سازی می‌شود. لذا ملخ i ام به‌عنوان برداری از x_i است که طبق رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$x_i = [x_1, x_2, \dots, x_i] \quad (۲)$$

که x_i نشان‌دهندهٔ i اُمین راه حل/ ملخ و i نشان‌دهنده تعداد گره‌های خاموش در محیط شبکه است. در این بخش از مقاله چون هدف تنظیم حالت خواب‌وبیدار گره‌ها در محیط شبکه به‌صورت بهینه است لذا هر ملخ، برداری به طول n خواهد بود. که در آن n بیانگر تعداد گره‌های خاموش/ خواب در شبکه است. شکل (۶) نمایش شماتیک هر ملخ آشوبگون را درروش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

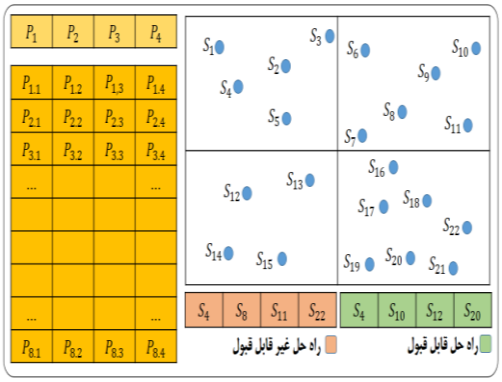
P_1	P_2	P_3	P_4

شکل (۶). بردار جمعیت اولیه ملخ در روش پیشنهادی

در بردار شکل (۶) هر عضو نشان‌دهنده یک حسگر انتخاب شده برای حالت خواب است. برای این گام یک شرط کنترلی لحاظ شده که تعداد گره‌های حالت خواب در هر بلوک یکسان باشد و مقدار آن یک عدد ثابت است. اگر این مقدار برابر با ۲ باشد یعنی از هر بلوک ۲ گره به حالت خواب خواهد رفت. پس طول بردار جمعیت اولیه در روش پیشنهادی برابر با رابطه (۳) خواهد بود.

$$L_{PV} = N_B \times C_F \quad (۳)$$

که در آن N_B معرف تعداد بلوک‌های شبکه و C_F نیز تعداد گره‌های مورد نظر برای حالت خواب در هر بلوک است. اگر جمعیت اولیه الگوریتم بهینه‌سازی ملخ برابر با ۸ و تعداد بلوک‌های شبکه ۴ و تعداد گره‌های مورد نظر برای حالت خواب در هر بلوک برابر با ۱ باشد. جمعیت اولیه ملخ‌ها در روش پیشنهادی به‌صورت ماتریسی به‌اندازه 4×8 و همانند شکل (۷) خواهد بود.



شکل (۷). نمایش یک ملخ در روش پیشنهادی

در شکل (۷) یک راه‌حل قابل‌قبول و یک راه‌حل غیرقابل‌قبول نیز نمایش داده شده که این فرایند توسط یک شرط در روش پیشنهادی کنترل می‌شود.

۴-۲-۲- محاسبه برازندگی ملخ‌ها

در این گام برازندگی ملخ‌ها بر اساس تابع (۴) محاسبه می‌شود. این تابع حاصل‌جمع وزن‌دار سه پارامتر انرژی مصرفی، نرخ پوشش و انرژی باقیمانده است و ارزش یک راه‌حل برای انتخاب گره‌های خواب‌وبیدار در روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

$$F = \frac{1}{\alpha_1 t_1 + \alpha_2 t_2 + \alpha_3 t_3} \quad (۴)$$

در رابطه (۴) مقادیر α_1، α_2 و α_3 به‌عنوان ضریب اهمیت هر کدام از پارامترها است. در جدول (۴) نمادهایی برای محاسبه هرکدام از پارامترهای دخیل در محاسبه تابع برازندگی روش پیشنهادی درج شده است. جدول (۵) این نمادها را معرفی می‌کند.

جدول (۴). معرفی پارامترهای تابع برازندگی

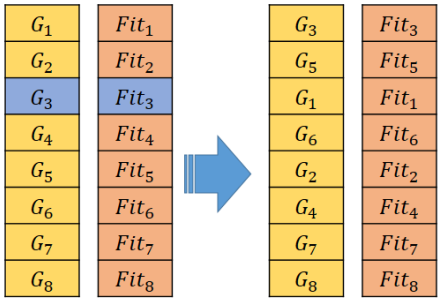
پارامتر	تعریف	رابطه
t_1	میزان انرژی مصرفی شبکه است و در آن انرژی مصرفی شبکه برمجموع فاصله گره‌ها تا سینک محاسبه شده و از مقدار ۱ تفریق می‌شود.	$t_1 = 1 - \frac{E_c}{\sum D_S}$
t_2	معرف نرخ پوشش در شبکه است که برابر با حاصل تقسیم تعداد بلوک‌های پوشش داده شده بر تعداد کل بلوک‌ها است.	$t_2 = \frac{B_C}{B_A}$
t_3	معرف انرژی باقیمانده در شبکه است. این پارامتر بر اساس حاصل تقسیم انرژی باقیمانده گره‌های انتخاب شده برمجموع انرژی تمامی گره‌های شبکه محاسبه می‌شود.	$t_3 = \frac{E_e}{\sum E_A}$

جدول (۵). معرفی نمادهای مربوط به پارامترهای تابع برازندگی

نماد	تعریف
E_c	انرژی مصرفی شبکه
$\sum D_S$	مجموع فاصله گره‌ها از سینک
B_C	تعداد بلوک‌های پوشش داده شده
B_A	تعداد کل بلوک‌ها در شبکه
E_e	انرژی باقیمانده گره‌های انتخاب شده
$\sum E_A$	مجموع انرژی تمامی گره‌های شبکه

۴-۲-۳- شناسایی بهترین راه‌حل (ملخ برتر)

در این گام از پژوهش از میان راه‌حل‌های ایجادشده، ملخی که بهترین پیشنهاد را برای تنظیم حالت خواب بیدار گره‌ها در بلوک‌های شبکه ارائه می‌دهد؛ انتخاب و ذخیره می‌شود. برای این منظور پس از محاسبه برازندگی تمام ملخ‌ها، ملخی که بالاترین برازندگی را داشته باشد به‌عنوان راه‌حل برتر انتخاب می‌شود. شکل (۸) چگونگی این فرایند را نشان می‌دهد در این شکل راه‌حل چهارم یک پیشنهاد مناسب برای زمان‌بندی خواب‌وبیدار گره‌های شبکه است.



$$G_8 < G_7 < G_4 < G_2 < G_6 < G_1 < G_5 < G_3$$

شکل (۸). انتخاب ملخ برتر در یک جمعیت

۴-۲-۴- نرمال‌سازی فاصله و به‌روزرسانی موقعیت ملخ‌ها

در این گام از پژوهش، پس از نرمال‌سازی فاصله ملخ‌ها با یکدیگر در فضای جستجوی مسئله، موقعیت آن‌ها با تکیه بر موقعیت ملخ برتر به‌روزرسانی می‌شود. به‌روزرسانی ملخ‌ها طبق رابطه (۵) انجام می‌گیرد که در آن ub_d کران بالای بعدام، lb_d کران پائین بعد dام، $\hat{T}_d$ مقدار بعد dام در هدف (بهترین راه‌حل یافته شده تاکنون)، و C ضریب کاهشی برای کوچک‌تر کردن ناحیه آسایش، ناحیه دافعه و ناحیه جاذبه است و s تابعی برای تعریف قدرت نیروهای اجتماعی است که طبق رابطه (۶) مدل شده است که درآن f شدت جاذبه را نشان می‌دهد و l مقیاس طول جاذبه است. معادله (۶) نشان می‌دهد که موقعیت بعدی یک ملخ بر اساس موقعیت فعلی آن، موقعیت هدف و موقعیت همه ملخ‌های دیگر تعریف می‌شود.

$$X_i^d = c\left(\sum_{\substack{j=1 \\ j\pm i}}^{N} c\,\frac{ub_d - lb_d}{2}\,s\left(\left|x_j^d - x_i^d\right|\right)\left(-\frac{x_j - x_i}{d_{ij}}\right)\right) + \hat{T}_d \qquad (۵)$$

$$s(r) = f_e^{\frac{-r}{l}} - e^{-r} \qquad (۶)$$

۴-۲-۵- کنترل خروج ملخ‌ها از فضای جستجو

در این گام از پژوهش یک متغیر کنترلی بررسی می‌شود که ملخ‌ها پس از به‌روزرسانی از فضای جستوجو خارج‌شده‌اند یا خیر؟ اگر ملخی با به‌روزرسانی از فضای جستجو خارج شد، موقعیت ملخ به موقعیت قبل از به‌روزرسانی بازگردانده می‌شود.

۴-۲-۶- شرط خاتمه

شرط خاتمه در این رویکرد دفعات اجرای الگوریتم بهینه‌سازی است. با خاتمه الگوریتم راه‌حلی برای زمان‌بندی خواب‌وبیدار در شبکه ارائه می‌شود. با استفاده از این الگو، برخی از گره‌ها در شبکه غیرفعال می‌شوند و روش پیشنهادی وارد فاز خوشه‌بندی می‌شود. شرط خاتمه در این گام به منزله اتمام روش پیشنهادی برای مسیریابی و انتقال داده نیست. در این مرحله جواب الگوریتم بهینه‌سازی ملخ بهبودیافته برای استفاده در فاز دوم روش پیشنهادی انتخاب می‌شود.

۴-۳. خوشه‌بندی حسگرها و انتخاب سرخوشه

در این گام حسگرهای موجود در محیط اینترنت اشیا بر اساس فاصله از همدیگر خوشه‌بندی شده و در هر دور اجرا یک گره به‌صورت دوره‌ای به‌عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. در این گام یک شرط کنترلی لحاظ شده و تا زمانی که همه گره‌ها به‌عنوان سرخوشه انتخاب نشده‌اند گره‌ای برای مرتبه بعدی به‌عنوان سرخوشه انتخاب نمی‌شود.

۴-۴. مسیریابی و انتقال داده در محیط اینترنت اشیا

پس از آنکه شبکه خوشه‌بندی شد؛ روش پیشنهادی وارد فاز انتقال داده می‌شود. این گام خود شامل دو فاز اصلی است. در فاز اول با استفاده از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر، بسته از گره مبدأ به گره سرخوشه منتقل شده و در فاز دوم با درنظرگرفتن پارامتر انرژی، بسته با بهره‌گیری از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه بین سرخوشه‌ها منتقل می‌شود تا به سینک برسد. در الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه، مورچه‌ها هنگام راه‌رفتن از خود ماده شیمیایی فرومون[10] ترشح می‌کنند. این ماده در بازه زمانی کمی تبخیر می‌شود ولی در کوتاه‌مدت به‌عنوان رد مورچه بر سطح زمین باقی می‌ماند. مورچه‌ها هنگام انتخاب بین دو مسیر، از قاعده احتمال استفاده می‌کنند. آن‌ها مسیری را انتخاب می‌کنند که فرومون بیشتری داشته باشد. به‌عبارت‌دیگر مورچه‌های بیشتری قبلاً از آن عبور کرده باشند. همین یک تمهید ساده می‌تواند منجر به پیداکردن کوتاه‌ترین مسیر شود. ساختار این الگوریتم باعث شده که عملاً برای مسائل مسیریابی یک الگوریتم مناسب تلقی شود. پژوهش‌های زیادی نیز با کلونی مورچه در حوزه مسیریابی انجام شده است. باتوجه‌به قابلیت‌های این الگوریتم در حوزه مسیریابی، فاز دوم روش پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه است. در ادامه توضیحات مربوط به هرکدام از فازهای مسیریابی آمده است.

[10] Pheromone

۴-۴-۱- فاز اول- انتقال درون خوشه‌ای

برای این منظور از الگوریتم دایکسترا یا کوتاه‌ترین مسیر استفاده شده است. الگوریتم دایکسترا راهکاری برای پیداکردن کم‌وزن مسیر از رأس مشخص آغاز به بقیه رئوس در گراف جهت‌دار و وزن‌دار (با وزن‌های مثبت) می‌دهد. وزن یک مسیر در گراف وزن‌دار برابر مجموع وزن یال‌های آن است. در این رویکرد جهت‌دار نبودن یال‌ها هم مشکلی ایجاد نمی‌کند و می‌توان برای یال‌های غیر جهت‌دار دو یال فرض کرد.

فرض کنید $1\le s\le n$ که در آن رأس s رأس آغاز است و $dist(s)=0$ و به‌ازای هر $v\neq s$ $dist(v)=\infty$ است و مجموعهٔ T برابر رئوسی باشد که تا کنون کم‌وزن‌ترین مسیر آن‌ها را پیدا کرده‌ایم. این الگوریتم در هر مرحله نزدیک‌ترین رأس به s را که تا کنون به مجموعهٔ T اضافه نشده را انتخاب می‌کند. مثلاً (x) را به مجموعهٔT اضافه می‌کند و فاصلهٔ دیگر رأس‌ها را باتوجه‌به فاصلهٔ x بروز می‌کند. به‌ازای هر رأس v خارج T

$$dist(v)=min(dist(v),dist(x)+w(x,v))$$

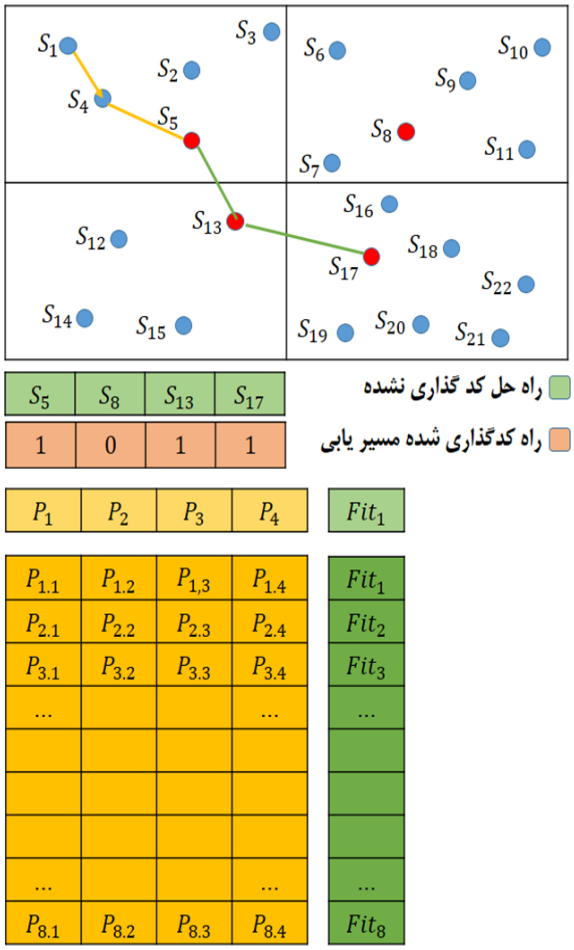
که در آن $w(x,v)$ برابر وزن یال بین x و v است. این الگوریتم در هر مرحله رأسی را که کوتاه‌ترین فاصلهٔ آن تا s پیدا شده است را به T اضافه می‌کند. زیرا کوتاه‌ترین مسیر این رأس از یکی از رأس‌های T می‌گذرد که در مراحل قبلی فاصله آن‌ها به‌دست‌آمده و دیگر رئوس را بروز کرده‌اند.

۴-۴-۲. فاز دوم – مسیریابی برون خوشه‌ای

پس از آنکه گره از مبدأ به سرخوشه متناظر خود رسید با بهره‌گیری از الگوریتم کلونی مورچه گره بین سرخوشه‌ها دست‌به‌دست می‌شود تا به سینک برسد. در روش پیشنهادی انتقال بسته بین سرخوشه‌ها به‌عنوان یک مسئله بهینه‌سازی در نظر گرفته شده است. لذا مسئله طرح شده به الگوریتم کلونی مورچه نگاشت می‌شود. برای این منظور جمعیت اولیه مورچه‌ها مطابق با شکل (۹) مدل‌سازی می‌شود. در مدل‌سازی صورت‌گرفته طول بردار هر مورچه به تعداد سرخوشه‌ها در محیط شبکه خواهد بود و مقادیر هر درایه در بردار با صفر و یک مقداردهی می‌شود. در این مدل صفر به منزله عدم انتخاب و یک به منزله انتخاب سرخوشه برای فرایند مسیریابی خواهد بود.

در این مدل‌سازی برازندگی هر مورچه نیز با استفاده از رابطه (۷) محاسبه خواهد شد. این رابطه باهدف کمینه‌کردن فاصله انتقال داده تا سینک است که در آن $\sum D_A$ مجموع مسافت بین گره‌های سرخوشه تا سینک است.

$$F_r=\frac{1}{\sum D_A} \quad (۷)$$



شکل (۹). مدل‌سازی جمعیت اولیه برای فاز دوم مسیریابی در روش پیشنهادی

۵- شبیه‌سازی

برای شبیه‌سازی طرح پیشنهادی از نرم‌افزار متلب استفاده شده است. شبیه‌سازی شامل ۳۰۰ گره ثابت است که در یک محدوده به ابعاد ۲۵۰ متر استقرار یافته‌اند. هر گره دارای انرژی اولیه ۰/۱ ژول است. تعداد ۳۰۰ عمل ارسال بسته به همراه مسیریابی لازم (از طریق روش پیشنهادی) به مقصد مشخصی رخ خواهد داد. انتخاب گره مناسب در سمت‌وسوی گره مقصد بسته، باعث کاهش مصرف انرژی و بهبود طول عمر شبکه می‌شود. پارامترهای شبیه‌سازی در جدول (۶) بیان شده است.

برای ارزیابی روش پیشنهادی از سه معیار طول عمر، میزان انرژی مصرفی و نرخ پوشش شبکه استفاده شده است. لذا سناریوهای مختلفی برای این منظور طراحی شده و آزمایش‌ها به‌ازای هر معیار انجام می‌گیرد. در تمامی سناریوها و معیارهای ارزیابی یافته‌ها با نتایج [۱۹] و با نسخه اصلی الگوریتم ملخ مقایسه خواهد شد.

جدول (۶). معرفی پارامترهای شبیه‌سازی

ساختار	پارامتر شبیه‌سازی	مقدار
محیط شبکه	ابعاد محیط	۲۵۰* ۲۵۰ متر
	تعداد گره‌ها	۳۰۰ گره
	تعداد بسته‌های ارسال شده به مقصد	۱۰۰،۱۵۰،۲۰۰،۲۵۰،۳۰۰ بسته
	انرژی اولیه گره‌ها	۰/۱ ژول
	شعاع ارسال سیگنال	۵۰ متر
الگوریتم بهینه‌سازی	تعداد جمعیت اولیه	۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰
	تعداد تکرار الگوریتم	۵۰، ۷۵ و ۱۰۰
	شرط خاتمه	اتمام نسل‌های الگوریتم
	تابع آشوب	لورزنز

۶- یافته‌ها و نتایج

در این بخش نتایج مربوط به اجرای آزمایش‌ها در دو سناریو بررسی کارایی روش پیشنهادی در طول زمان و بررسی کارایی روش پیشنهادی به‌ازای تعداد گره‌های مختلف با معیارهای ارزیابی معرفی شده مورد تجزیه‌وتحلیل گرفته است.

۶-۱. تنظیم پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی

در الگوریتم‌های بهینه‌سازی بالابودن تعداد جمعیت اولیه، کاهش تعداد تکرارها را در پی دارد. اما باید در نظر داشت که افزایش جمعیت اولیه باعث می‌شود که الگوریتم در مرحله ارزیابی جمعیت اولیه زمان بیشتری را صرف کند که این افزایش در زمان ارزیابی باعث می‌شود که زمان اجرای الگوریتم تا رسیدن به همگرایی با وجود کاهش تعداد تکرارها، کاهش نیابد. پس افزایش تعداد جمعیت اولیه نمی‌تواند برای کاهش زمان اجرای الگوریتم مورداستفاده قرار گیرد. تصور دیگری نیز وجود دارد و آن این است که برای کاهش زمان اجرای الگوریتم می‌توان تعداد جمعیت اولیه را کاهش داد. این امر نیز به افزایش تکرارهای الگوریتم ختم می‌شود که در نهایت زمان اجرای برنامه برای رسیدن به پاسخ بهینه کاهش نخواهد یافت. همچنین کاهش تعداد جمعیت اولیه ممکن است موجب گرفتار شدن الگوریتم در بهینه‌های محلی شود و الگوریتم از رسیدن به بهینه سراسری اصلی باز ماند. پس، تعداد جمعیت اولیه و دفعات تکرار الگوریتم باید باتوجه‌به مسئله تعیین شود. در این بخش تعداد جمعیت اولیه و دفعات تکرار الگوریتم بهینه‌سازی ملخ آشوبگون بر کارایی روش پیشنهادی بررسی شده تا عملکرد الگوریتم در بهترین حالت خود مورد تجزیه‌وتحلیل قرار بگیرد.

جدول (۷) عملکرد الگوریتم بهینه‌سازی در مسیریابی آگاه از انرژی اینترنت اشیا با تعداد جمعیت اولیه مختلف را نشان می‌دهد. در این بررسی دفعات تکرار الگوریتم به‌صورت پیش‌فرض ۱۰۰ دور در نظر گرفته شده است. یافته‌ها بیانگر آن است که روش پیشنهادی در دو شاخص تعداد گره‌های زنده و انرژی باقیمانده به‌ازای ۵۰ عضو جمعیت اولیه بهترین عملکرد را دارد. اما در شاخص ارزیابی پوشش ۰،۰۱ درصد با بهترین حالت خود که با ۶۰ جمعیت اولیه رخداده است فاصله دارد. باتوجه‌به اینکه عملکرد الگوریتم در دو شاخص به‌ازای ۵۰ ملخ بهتر بوده و در شاخص پوشش اختلاف اندکی با بهترین عملکرد خود در ۶۰ ملخ دارد و با درنظرگرفتن اینکه افزایش تعداد جمعیت اولیه، پیچیدگی محاسباتی روش پیشنهادی افزایش خواهد یافت لذا انتخاب ۵۰ عضو جمعیت اولیه برای روش پیشنهادی مطلوب خواهد بود. اما در بررسی دوم تأثیر تکرارهای الگوریتم بر عملکرد روش پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی باتوجه‌به یافته‌های جدول (۷) تعداد جمعیت اولیه ۵۰ در نظر گرفته شده و آزمایش به‌ازای تعداد تکرارهای مختلف انجام گرفت.

جدول (۷). بررسی کارایی روش پیشنهادی به‌ازای تعداد جمعیت اولیه مختلف

الگوریتم	شاخص	20 POP	30 POP	40 POP	50 POP	60 POP
LGOA	گره‌های زنده	۳۷	۴۱	۴۵	۴۵	۴۶
	پوشش	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۳	۰/۳۴	۰/۳۵
	انرژی باقیمانده	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۴۸	۰/۵۱	۰/۵۱

جدول (۸) نتایج این بررسی را نشان می‌دهد. یافته‌ها گویای آن است که روش پیشنهادی به‌ازای ۱۰۰ دور تکرار عملکرد روش پیشنهادی همواره با نتایج مطلوب همراه است.

جدول (۸). بررسی کارایی روش پیشنهادی به‌ازای تعداد تکرارهای مختلف

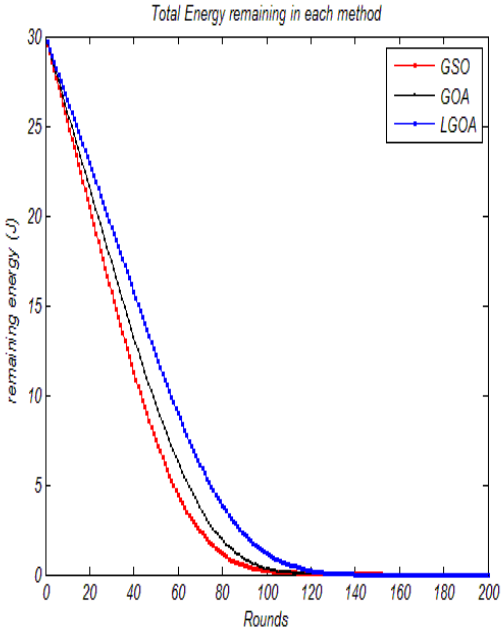
الگوریتم	شاخص	50 Itr	75 Itr	100 Itr
LGOA	گره‌های زنده	۴۳	۴۵	۴۵
	پوشش	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۳۴
	انرژی باقیمانده	۰/۴۵	۰/۴۹	۰/۵۱

با درنظرگرفتن نتایج این سناریو در روش پیشنهادی تعداد جمعیت اولیه ۵۰ و دفعات تکرار الگوریتم ۱۰۰ دور تنظیم می‌شود.

۶-۲. سناریو اول: کارایی روش پیشنهادی در طول زمان

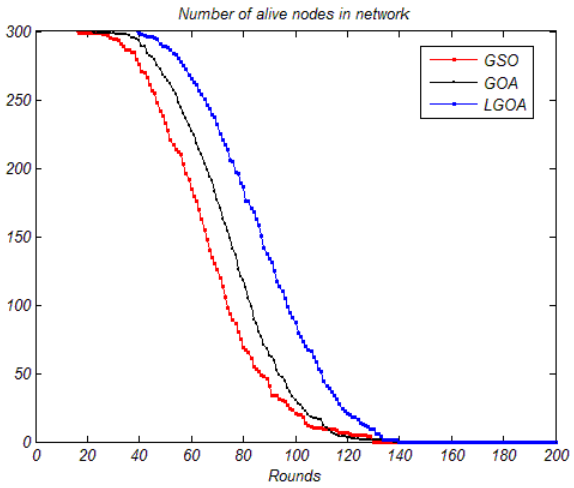
در این سناریو شبیه‌سازی را به مدت ۱۰۰ دور انجام داده و عملکرد طرح پیشنهادی، از نظر میزان انرژی باقیمانده، طول عمر و نرخ پوشش شبکه مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است. بررسی یافته‌ها برای معیار ارزیابی انرژی باقیمانده گره‌ها در شبکه نشان می‌دهد که انرژی باقیمانده گره‌ها در طرح پیشنهادی بیشتر از انرژی

باقیمانده در سایر طرح‌های پایه است، لذا می‌توان گفت که روش پیشنهادی مقاله که *LGOA* است توانسته است میزان مصرف انرژی را در محیط اینترنت اشیا کاهش دهد. نتایج این بررسی در شکل (۱۰) آمده است. همچنین تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها در این بررسی تأیید می‌کند که شیب کاهش مصرف انرژی در روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها ملایم‌تر است. به‌نحوی‌که پس از ۱۰۰ دور شبیه‌سازی ۸ درصد از انرژی شبکه باقیمانده است این در حالی است که همین امر برای رویکردهای مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی ملخ و الگوریتم بهینه‌سازی *GSO* تقریباً ۱ درصد است. برای بررسی مصرف متعادل انرژی گره‌ها و اجتناب از تحمیل نقش به گره‌های دارای شرایط بحرانی (حداقل انرژی)، تعداد گره‌های زنده هر طرح در شرایط یکسان مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است.



شکل (۱۰). بررسی میزان انرژی باقیمانده گره‌ها

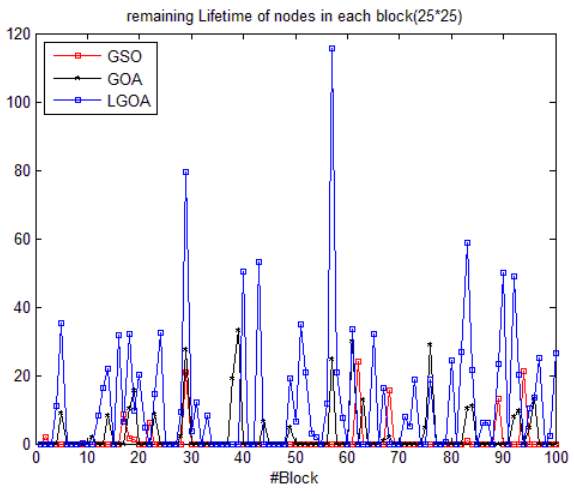
همان گونه که در شکل (۱۱) مشخص است تعداد گره‌های زنده طرح پیشنهادی همواره بیشتر از تعداد گره‌های زنده در طرح‌های پایه است. با وجود گره‌های زنده بیشتر، فرایند مسیریابی بادقت بالاتری انجام خواهد گرفت. دیگر یافته‌ها در این بررسی نشان می‌دهد که زمان مرگ اولین گره در روش پیشنهادی در دور ۳۹ اتفاق افتاده است. این در حالی است که همین امر برای روش مبتنی الگوریتم بهینه‌سازی ملخ در دور ۲۸ و برای الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک بهبودیافته با ازدحام ذرات در دور ۲۶ اتفاق افتاده است. تأخیر در زمان مرگ اولین گره نشان‌دهنده بهبود طول عمر شبکه است.



شکل (۱۱). بررسی طول عمر شبکه بر اساس تعداد گره‌های زنده هر طرح در طول شبیه‌سازی

در روش پیشنهادی تقسیم‌بندی فضای شبیه‌سازی در یک ناحیه بلوک‌بندی شده با ۱۰۰ بلوک انجام شده که حضور گره‌ها در این بلوک‌ها با انرژی‌های باقیمانده مختلف، است. برای سنجش متعادل بودن مصرف انرژی در نواحی مختلف شبکه و پوشش بهتر تمام بلوک‌ها، در آزمایش دیگری طول عمر شبکه بر حسب تعداد دوری که ملاک پوشش در آن بلوک (بر حسب انرژی گره‌های آن بلوک) برقرار است؛ بررسی شده است.

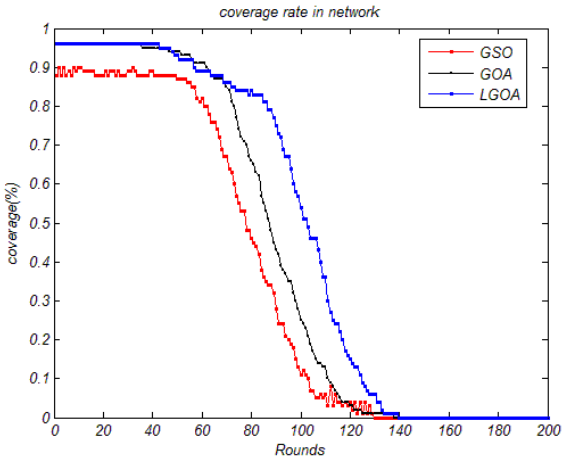
شکل (۱۲) نتایج این بررسی را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که در تمامی بلوک‌های شبکه، گره‌های هر بلوک با روش پیشنهادی مقاله که یک رویکرد مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی ملخ آشوبگون است طول عمر بیشتری دارند.



شکل (۱۲). بررسی میزان طول عمر شبکه در بلوک‌های مختلف

معیار ارزیابی بعدی، نرخ پوشش شبکه به‌ازای بلوک‌های مختلف است. این معیار معرف بلوک‌هایی که در حال حاضر، شامل گره زنده بوده و عمل ارسال بسته در آن ناحیه امکان‌پذیر است.

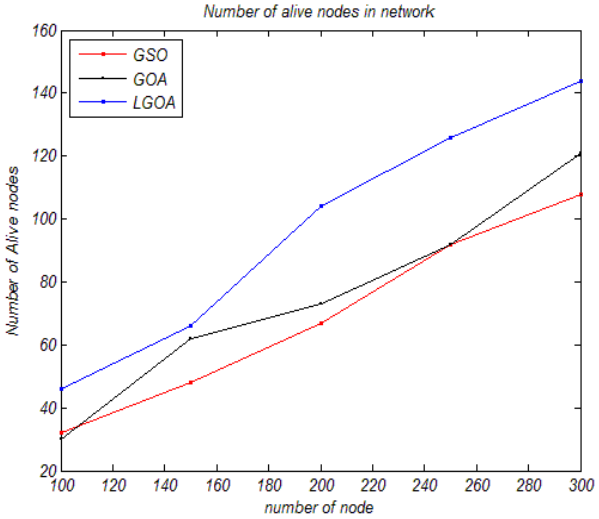
بررسی یافته‌ها در شکل (۱۳) نشان می‌دهد که نرخ پوشش همواره در طرح پیشنهادی نسبت به سایر طرح‌های پایه بیشتر است.



شکل (۱۳). عملکرد طرح پیشنهادی از نظر پوشش

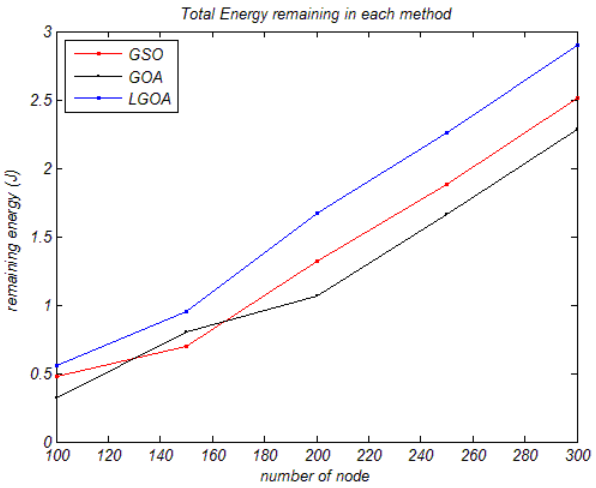
۶-۳- سناریو دوم: بررسی کارایی روش پیشنهادی به‌ازای تعداد گره‌های مختلف

در این سناریو، تعداد گره‌های زنده، میزان انرژی باقیمانده گره‌ها و نرخ پوشش شبکه با تعداد گره‌های مختلف (۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ گره) را مورد تجزیه‌وتحلیل قرار دادیم. در معیار ارزیابی تعداد گره‌های زنده یافته‌های پژوهش نشان‌دهنده آن است که در تمامی طرح‌ها با افزایش تعداد گره‌های شبکه، تعداد گره‌های زنده شبکه نیز افزایش می‌یابد اما به‌صورت میانگین و به‌ازای تعداد گره‌های مختلف در محیط شبکه روش پیشنهادی توانسته است ۳۰ درصد نسبت به روش GOA و ۳۴ درصد نسبت به GSO کارایی بهتری در این معیار ارزیابی از خود نشان دهد. نتایج این بررسی در شکل (۱۴) نشان‌داده‌شده است.



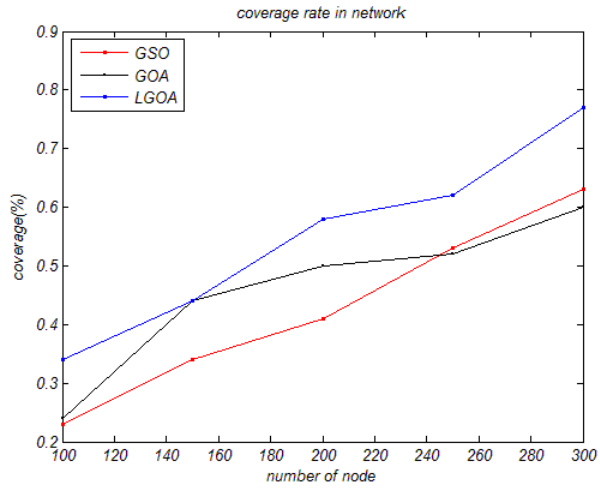
شکل (۱۴). گره‌های زنده در هر طرح با تعداد مختلف گره‌ها

در معیار ارزیابی انرژی باقیمانده گره‌های شبکه نیز بررسی‌ها نشان‌دهنده آن است که در تمامی طرح‌ها با افزایش تعداد گره‌های شبکه، انرژی باقیمانده شبکه نیز افزایش می‌یابد اما به‌صورت میانگین و به‌ازای تعداد گره‌های مختلف در محیط شبکه روش پیشنهادی توانسته است ۱۶ درصد نسبت به روش GOA و ۲۵ درصد نسبت به GSO کارایی بهتری در این معیار ارزیابی از خود نشان دهد. نتایج این بررسی در شکل (۱۵) نشان‌داده‌شده است.



شکل (۱۵). میزان انرژی باقیمانده در هر طرح با تعداد گره‌های مختلف

نهایتاً در معیار ارزیابی نرخ پوشش نیز بررسی‌ها نشان‌دهنده آن است که در تمامی طرح‌ها با افزایش تعداد گره‌های شبکه، نرخ پوشش شبکه و کیفیت انتقال داده نیز افزایش می‌یابد اما به‌صورت میانگین و به‌ازای تعداد گره‌های مختلف در محیط شبکه روش پیشنهادی توانسته است ۱۳ درصد نسبت به روش GOA و ۱۷ درصد نسبت به GSO کارایی بهتری در این معیار ارزیابی از خود نشان دهد. نتایج این بررسی در شکل (۱۶) نشان‌داده‌شده است.



شکل (۱۶). بررسی میزان پوشش در بلوک‌های شبکه

۷- نتیجه‌گیری

بیش از یک دهه است که مفاهیم جدیدی در دنیای فناوری شکل‌گرفته و در سال‌های اخیر، در قالب یک‌سری محصولات هوشمند به بازار راه پیدا کرده که بر اساس آن هر شیء فیزیکی می‌تواند با اتصال به اینترنت یا به کمک سایر ابزارهای ارتباطی، با سایر اشیا تعامل داشته باشد. در این فناوری که اینترنت اشیا نامیده می‌شود گره‌های شبکه از نظر منبع انرژی با محدودیت مواجه هستند. بنابراین نیاز به روش‌های ابتکاری برای برطرف نمودن اتلاف انرژی که موجب کوتاه‌شدن طول عمر شبکه‌ها می‌شود، کاملاً احساس می‌شود. این محدودیت‌ها به همراه تراکم بالای گره‌های شبکه باعث چالش‌های بسیاری در طراحی و مدیریت شبکه‌های بیسیم و لزوم آگاهی از انرژی در همه لایه‌های پشته پروتکل شبکه شده است. یکی از تکنیک‌های کاهش مصرف انرژی در اینترنت اشیا مسیریابی و انتقال داده آگاه از انرژی است. ارسال داده در این نوع فناوری یک حوزه محبوب تحقیقاتی اعم از مانیتورینگ، کنترل محیط، مراقبت بدن و کاربردهای نظامی است. مسیریابی آگاه از انرژی از طریق گره‌هایی که دارای منابع انرژی کافی هستند و با جلوگیری از مشارکت گره‌هایی که دارای انرژی کمتر از یک مقدار آستانه خاص دارند داده را به سمت مقصد ارسال می‌کند.

در این مقاله یک رویکرد آگاه از انرژی برای مسیریابی اینترنت اشیا پیشنهاد گردید که تمرکز آن بر زمان‌بندی خواب‌وبیدار گره‌ها است و برای این منظور از الگوریتم بهینه‌سازی جدیدی تحت عنوان الگوریتم بهینه‌سازی ملخ آشوبگون استفاده شد. برای بررسی کارایی روش پیشنهادی از سه معیار ارزیابی انرژی باقیمانده، طول عمر شبکه و نرخ پوشش استفاده شد. بررسی یافته‌ها در دو سناریو مختلف نشان داد که روش پیشنهادی همواره در تمامی سناریوها و معیارهای ارزیابی کارایی بهتری نسبت به طرح‌های پایه دارد لذا می‌توان از آن به‌عنوان یک طرح قابل‌اطمینان در مسیریابی و انتقال داده در اینترنت اشیا استفاده کرد.

۸- مراجع

[1] U. Z. A. Hamid, H. Zamzuri, and D. K. Limbu, "Internet of vehicle (IoV) applications in expediting the implementation of smart highway of autonomous vehicle: A survey," in *Performability in Internet of Things*, pp. 137-157, 2019.

[2] S. Enshaeifar *et al.*, "The internet of things for dementia care," *IEEE Internet Computing*, vol. 22, no. 1, pp. 8-17, 2018.

[3] M. Nawir, A. Amir, N. Yaakob, and O. B. Lynn, "Internet of Things (IoT): Taxonomy of security attacks," in ۳ ۲۰۱٦*rd International Conference on Electronic Design (ICED)*, pp.321-326, 2016.

[4] A. Oracevic, S. Dilek, and S. Ozdemir, "Security in internet of things: A survey," in 2017 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC), pp.1-6, 2017.

[5] K .Machado, D. Rosário, E. Cerqueira, A. Loureiro, A. Neto, and J. de Souza, "A routing protocol based on energy and link quality for internet of things applications," *sensors*, vol. 13, no. 2, pp. 1642-1964, 2013.

[6] Y. Yuehong, Y. Zeng, X. Chen, and Y. Fan, "The internet of things in healthcare: An overview," *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 1, pp. 3-13, 2016.

[7] E. T. Chen, "The Internet of Things: Opportunities, Issues, and Challenges," in *The Internet of Things in the Modern Business Environment*: IGI Global, pp. 167-187, 2017.

[8] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future generation computer systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645-1660 , 2013.

[9] T. Muhammed, R. Mehmood, A. Albeshri, and A. Alzahrani, "HCDSR: A hierarchical clustered fault tolerant routing technique for IoT-based smart societies," in *Smart Infrastructure and Applications*: Springer, pp. 609-628, 2020.

[10] H. Singh and D. Singh, "Taxonomy of routing protocols in wireless sensor networks: A survey," in *2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*, pp. 822-830, 2016.

[11] C. Wang and Q. Lin, "Swarm intelligence optimization based routing algorithm for Wireless Sensor Networks," in *Neural Networks and Signal Processing, 2008 International Conference on*, pp.136-141, 2008.

[12] A. Jain and S. Jain, "A survey on miscellaneous attacks and countermeasures for RPL routing protocol in IoT," in *Emerging Technologies in Data Mining and Information Security*: Springer, pp. 611-620, 2019.

[13] H. Kharrufa, H. A. Al-Kashoash, and A. H. Kemp, "RPL-based routing protocols in IoT applications: A Review," *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, no. 15 ,pp. 5952-5967, 2019.

[14] J. Marietta and B. Chandra Mohan, "A review on routing in internet of things," *Wireless Personal Communications*, vol. 111, no. 1, pp. 209-233, 2020.

[15] S. Saremi, S. Mirjalili and A. Lewis, "Grasshopper optimisation algorithm: theory and application", Advances in Engineering Software, vol. 105, pp. 30-47, 2017.

[16] M. Mafarja, I. Aljarah, H. Faris, A. I. Hammouri, A.-Z. Ala'M, and S. Mirjalili, "Binary grasshopper optimisation algorithm approaches for feature

selection problems," *Expert Systems with Applications*, vol. 117, pp. 267-286, 2019.

[17] R. Yarinezhad and S. Azizi, "An energy-efficient routing protocol for the Internet of Things networks based on geographical location and link quality," *Computer Networks*, vol. 193, pp. 108-116, 2021.

[18] B. Shi and Y. Zhang, "A novel algorithm to optimize the energy consumption using IoT and based on Ant Colony Algorithm," *Energies*, vol. 14, no. 6 , 2021.

[19] A. Chhabra, V. Vashishth, A. Khanna, D. K. Sharma, and J. Singh, "An energy efficient routing protocol for wireless internet-of-things sensor networks," *arXiv preprint, 2018*.

[20] Z. Wang, H. Ding, B. Li, L. Bao, and Z. Yang, "An energy efficient routing protocol based on improved artificial bee colony algorithm for wireless sensor networks," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 133577-133596, 2020.

[21] S. Sankar, S. Ramasubbareddy, F. Chen, and A. H. Gandomi, "Energy-Efficient Cluster-based Routing Protocol in Internet of Things Using Swarm Intelligence," in *2020 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, pp. 219-224, 2020.

[22] S.-H. Park, S. Cho, and J.-R. Lee, "Energy-efficient probabilistic routing algorithm for internet of things," *Journal of Applied Mathematics*, vol. 2014, 2014.

[23] S. Yousefi, F. Derakhshan, H. S. Aghdasi, and H. Karimipour, "An energy-efficient artificial bee colony-based clustering in the internet of things," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 86, 2020.

[24] M. Vellanki, S. Kandukuri, and A. Razaque, "Node level energy efficiency protocol for Internet of Things," *Journal of Theoretical and Computational Science*, vol. 3, 2016.