Journal of Soft Computing and Information Technology (JSCIT)
Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
Journal Homepage: www.jscit.nit.ac.ir
Volume 7, Number 1, Spring & Summer 2018, pp. 87-103
Received: 2017/11/24, Revised: 2018/02/13, Accepted: 2018/11/21

A new energy-efficient fuzzy cluster-based routing algorithm with a Constant threshold in wireless sensor network

Mostafa Mirzaie[1], Sayyed Majid Mazinani[2*] and Armin Mazinani[3]
1- Department of Electrical and Computer Engineering, Imam Reza International University, Mashhad, Iran.
2*- Department of Electrical and Computer Engineering Imam Reza International University, Mashhad, Iran.
3- Department of Electrical and Computer Engineering, Khayyam University, Mashhad, Iran.
[1] mostafa.mirzaie@imamreza.ac.ir, [2*]smajidmazinani@imamreza.ac.ir, and [3] a.mazinani@khayyam.ac.ir

Corresponding author address: Sayyed Majid Mazinani, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Imam Reza International University, Mashhad, Iran.

Abstract-A major challenge in the development of wireless sensor networks is Increase network lifetime. Cluster-based routing protocols are proposed as a solution to improve energy consumption in wireless sensor networks. Clustering in each round and the single-hop transmission to base station is base of many algorithms that have been presented so far. Clustering in each round increases the number of control messages, collision and reduces energy of the network. Multi-hop routing increases the life time of cluster nodes and improves network performance. Proposed algorithm use the benefits of clustering and multi-hop routing, we consider a new fuzzy clustering based routing protocol with fixed threshold. The innovations of proposed paper include clustering nodes in different rounds, consideration of a fixed threshold, using different clustering algorithms, and multi-hop routing by considering the appropriate intermediate node In order to send data from each cluster head to the base station. Fuzzy inference using parameters such as "remaining energy", "neighbors' number", and "distance" of each node. The proposed algorithm has been compared with other algorithms on the field of network lifetime parameters, number of dead nodes per round, first dead node, half dead, and last dead node. The simulation results show that the proposed algorithm works better than other the methods.

Keywords- Routing, Clustering, Fuzzy System, Wireless sensor network.

مجله علمی پژوهشی رایانش نرم و فناوری اطلاعات
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
صفحه مجله: www.jscit.nit.ac.ir
جلد ۷، شماره ۱، فصل بهار و تابستان ۱۳۹۷، صفحه ۸۷-۱۰۳
دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۰۳، بازنگری: ۱۳۹۶/۱۱/۲۴، پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۳۰

الگوریتم مسیریابی جدید براساس خوشه‌بندی با آستانه ثابت فازی انرژی کارآمد در شبکه حسگر بیسیم

مصطفی میرزایی[۱]، سید مجید مزینانی*[۲]، آرمین مزینانی[۳]
۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بین المللی امام رضا (ع)، مشهد، ایران.
*۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بین المللی امام رضا (ع)، مشهد، ایران.
۳- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه خیام، مشهد، ایران.
[1] mostafa.mirzaie@imamreza.ac.ir, [2*] smajidmazinani@imamreza.ac.ir, and [3] a.mazinani@khayyam.ac.ir

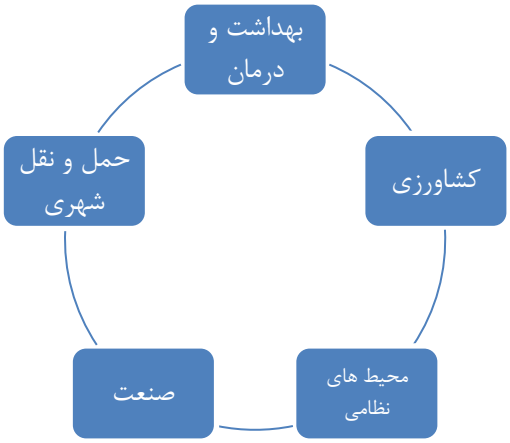
* نشانی نویسنده مسئول: سید مجید مزینانی، مشهد، خیابان اسرار، دانشگاه بین المللی امام رضا (ع)، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

چکیده- افزایش طول عمر شبکه به عنوان چالشی اساسی در توسعه شبکه‌های حسگر بیسیم به شمار می‌آید. مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی به عنوان یک راهکار مناسب به منظور بهبود مصرف انرژی و افزایش طول عمر در شبکه‌های حسگر بیسیم ارائه شده است. مبنای بسیاری از الگوریتم‌هایی که تاکنون ارائه شده‌اند، خوشه‌بندی در هر دور و ارسال تک‌پرشه اطلاعات، به ایستگاه پایه است. خوشه‌بندی در هر دور باعث افزایش تعداد پیام‌های کنترلی ارسالی، افزایش احتمال تصادم و کاهش انرژی در شبکه می شود. ارسال چندپرشه اطلاعات افزایش طول عمر گره سرخوشه و بهبود عملکرد شبکه را در پی دارد. در الگوریتم پیشنهادی به منظور استفاده همزمان از مزایای خوشه‌بندی و ارسال چندپرشه اطلاعات یک پروتکل مسیریابی فازی مبتنی بر خوشه‌بندی جدید با در نظر گرفتن حد آستانه ثابت ارائه شده است. نوآوری‌های صورت گرفته در این مقاله، شامل عدم اجرای خوشه‌بندی در هر دور، در نظرگرفتن حد آستانه ثابت، استفاده از الگوریتم‌های متفاوت به منظور خوشه‌بندی و همچنین ارائه مسیریابی چندپرشه با در نظر گرفتن گره میانی مناسب به منظور ارسال از هر خوشه به ایستگاه پایه است. از "انرژی باقیمانده"، "تعداد همسایه‌ها" و "فاصله" هر گره به عنوان معیارهای فازی برای انتخاب گره سرخوشه استفاده شده است. طرح پیشنهادی در چهار سناریو مختلف با سایر الگوریتم‌ها از جهت پارامترهای طول عمر شبکه، تعداد گره‌های مرده در هر دور، اولین گره مرده، نیمی از گره‌های مرده ، آخرین گره مرده وانرژی باقیمانده شبکه در هردور مقایسه شده است.

واژه‌های کلیدی: مسیریابی، خوشه‌بندی، سیستم فازی، شبکه حسگر بیسیم

۱- مقدمه

شبکه حسگر بیسیم معمولا از تعداد زیادی گره ارزان قیمت با ظرفیت انرژی و قابلیت پردازش محدود تشکیل شده است که وظیفه حسگری پارامترهای محیطی را برعهده دارند. در سال‌های اخیر پیشرفت در زمینه طراحی مدارهای الکترونیکی موجب کاهش اندازه، وزن و هزینه سنسورهای حسگر شده است که همزمان افزایش توان پردازشی و دقت نتایج بدست آمده از این تکنولوژی را در پی داشته است. شبکه‌های حسگر بیسیم معمولا برای کاربردهای نظارتی و ردیابی مورد استفاده قرار می‌گیرند که در شکل۱، قابل مشاهده است [۲-۱].



شکل ۱ : کاربردهای شبکه حسگر بیسیم

با توجه به محدویت انرژی گره‌ها در شبکه حسگر بیسیم، ارسال داده بیشترین سهم را در مصرف انرژی دارد، از این رو طراحی ساختاری که کمترین میزان انرژی در ارسال داده‌ها به ایستگاه پایه مصرف داشته باشد، دارای اهمیت است. یکی از روش‌های بهبود مصرف انرژی، استفاده از ساختار سلسله مراتبی در معماری شبکه است. با استفاده از ساختار سلسله مراتبی، گره‌های شبکه در چند لایه قرار می‌گیرند و گره‌های هر لایه دارای ویژگی‌های یکسان هستند. خوشه‌بندی یکی از روش‌هایی است که ساختار سلسله مراتبی را محقق می‌سازد. در نتیجه این اقدام گره‌های شبکه به خوشه‌های کوچکتر تقسیم می‌شوند، این رویکرد امکان تجمیع داده-های دریافتی از محیط را در گره‌های حسگر فراهم می‌کند. استفاده از خوشه‌بندی افزایش مقیاس‌پذیری، بهبود مصرف انرژی و کاهش تاخیر مسیریابی را در پی دارد [۴-۳].

با توجه به ماهیت پویا در شبکه حسگر بیسیم، انتخاب استراتژی مناسب به منظور ارسال اطلاعات از گره سرخوشه به ایستگاه پایه می‌تواند موجب بهبود مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه شود. مسیریابی در شبکه حسگر بیسیم را می‌توان به روش‌های

۱- مسطح ۲- سلسله مراتبی ۳- مبتنی بر مکان ، تقسیم کرد.

شکل ۲: ساختار سلسله

در مسیریابی مسطح گره‌های شبکه نقش یکسانی ایفا می‌کنند. در این روش دریافت اطلاعات محیطی از طریق همکاری گره‌ها با یکدیگر محقق می‌شود. پروتکل‌های Spin و Flooding از جمله روش‌های مبتنی بر این نوع مسیریابی هستند. مسیریابی سلسله مراتبی یکی دیگر از رویکردهای ارسال اطلاعات به ایستگاه پایه است [۶-۵]. استفاده از این نوع مسیریابی موجب مقیاس‌پذیری بیشتر می شود. در مسیریابی سلسله مراتبی معمولا گره‌هایی با انرژی بیشتر به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند که وظیفه دریافت و تجمیع داده‌های دریافتی از گره‌های حسگر را برعهده دارند [۸-۷]. داده‌ها پس از تجمیع به صورت تک‌پرشه یا چندپرشه به منظور پردازش و دریافت توسط کاربر به ایستگاه پایه ارسال می شوند. با توجه به اینکه هر چه فاصله گره تا ایستگاه پایه بیشتر شود، ارسال داده‌ها به ایستگاه پایه هزینه بیشتری خواهد داشت، استفاده از ارسال چندپرشه با در نظر گرفتن گره میانی مناسب می‌تواند باعث صرفه‌جویی بیشتر در مصرف انرژی و درنتیجه افزایش طول عمر گره سرخوشه شود. با توجه به آنچه بیان شد استفاده از ارسال چندپرشه موجب افزایش پیوستگی، محیط تحت پوشش و طول عمر شبکه می‌شود. تاکنون روش‌های بسیاری به منظور انتخاب گره سرخوشه ارائه شده است. استفاده از سیستم فازی به منظور انتخاب گره سرخوشه باعث کاهش پیچیدگی محاسباتی می شود [۱۱-۹].

نوآوری الگوریتم پیشنهادی، ارائه یک روش مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی با حد آستانه ثابت با هدف صرفه‌جویی در مصرف انرژی است. مسیریابی بکارگرفته شده در این الگوریتم به صورت چندپرشه و از طریق انتخاب گره میانی مناسب و در موارد خاص به صورت تک‌پرشه است. گره میانی از میان سرخوشه‌های منتخب و براساس معیار شایستگی انتخاب می‌شود. معیار شایستگی ترکیبی از " فاصله تا ایستگاه پایه" و " انرژی باقیمانده گره" است. در الگوریتم پیشنهادی، خوشه‌بندی برخلاف سایر روش‌های رایج که تاکنون ارائه شده با اعتماد به گره سرخوشه منتخب دور قبل است، بنابراین خوشه‌بندی در هر دور انجام نمی‌شود. انتخاب تصادفی سرخوشه‌ها در برخی از الگوریتم‌های خوشه‌بندی موجب کاهش احتمال درنظر گرفتن بهترین گره به عنوان سرخوشه می‌شود. درالگوریتم پیشنهادی، یک گره با بهترین مقادیر پارامترهای فازی به عنوان گره سرخوشه انتخاب می‌شود و با اعتماد به گره انتخابی در دور جاری، در دور بعد سرخوشه دیگری

انتخاب نمی شود. این رویکرد، کاهش تعداد پیام‌های کنترلی تبادل شده و همچنین کاهش تصادم را در پی دارد.

ادامه مقاله به صورت زیر است : معرفی سیستم فازی، در بخش دوم ارائه شده است. در بخش سوم به معرفی برخی از الگوریتم‌های خوشه‌بندی مبتنی بر سیستم فازی و بیان مزایا و معایب این الگوریتم‌ها می‌پردازیم. محتوای بخش چهارم را ارائه مدل سیستم پیشنهادی، بیان اصطلاحات بکار گرفته شده در مقاله و بیان الگوریتم و جزییات آن را تشکیل می‌دهد. نتایج حاصل از شبیه سازی، مقایسه الگوریتم ارائه شده با سایر الگوریتم‌ها، پیاده‌سازی الگوریتم، مقایسه آن با سایر الگوریتم‌ها و تحلیل نتایج آن از مهمترین قسمت‌های بخش پنجم است. بخش ششم جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و کار آتی را بیان می‌کند.

۲- سیستم فازی

یکی از تصمیمات مهم در طول فرآیند خوشه‌بندی انتخاب گره سرخوشه است، انتخاب گره مناسب به عنوان سرخوشه، کاهش قابل‌توجه مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه درپی دارد. تاکنون روش‌های بسیاری براساس انتخاب احتمالی، انتخاب قطعی، استفاده از الگوریتم‌های تکاملی و بکارگیری منطق فازی به منظور انتخاب گره سرخوشه معرفی شده است. استفاده از سیستم فازی در شبکه‌های حسگر بیسیم موجب کاهش پیچیدگی محاسباتی و کاهش عدم قطعیت می‌شود [۱۲].

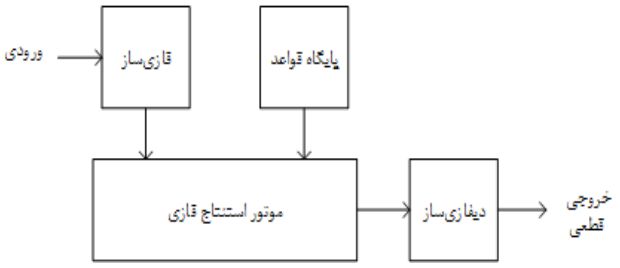
منطق فازی بر خلاف منطق کلاسیک که دارای دو ارزش صفر و یک است، یک منطق چند ارزشی است و ارزش درستی هر گزاره می‌تواند بین دو مقدار صفر و یک تغییر کند. سیستم فازی فرآیندی سیستماتیک برای تبدیل یک پایگاه دانش به یک نگاشت غیرخطی است که در آن فرموله کردن یک فرآیند به کمک منطق فازی صورت می‌گیرد. معماری اصلی سیستم فازی به صورت زیر است و نحوه عملکرد آن در شکل ۳ نمایش داده شده است.

(۱) فازی ساز: هر کدام از مقادیر منطقی ورودی را به یک مجموعه فازی نگاشت می‌کند.

(۲) دیفازی ساز: در این بخش هر کدام از نتایج فازی بدست آمده به یک مقدار حقیقی نگاشت می‌شود.

(۳) موتور استنتاج فازی: در این واحد مقادیر فازی شده مورد پردازش قرار می‌گیرند و عملیات بر روی پایگاه قوانین صورت می‌گیرد این عملیات شامل بدست آوردن تابع عضویت برای مقادیر ورودی، اعمال عملگرهای فازی[۱] و بدست آوردن خروجی فازی است.

(۴) پایگاه قواعد : شامل قواعد و عبارات «اگر – آنگاه » فازی است [۱۳].



شکل ۳ : سیستم فازی

۳- کارهای مرتبط

در این بخش به بررسی الگوریتم‌های مختلف خوشه‌بندی فازی و غیرفازی می‌پردازیم و نقاط قوت و ضعف آنها را بیان می‌کنیم.

۳-۱- خوشه‌بندی غیر فازی

LEACH[۲] [۱۴] یک پروتکل خوشه‌بندی مبتنی بر انتخاب تصادفی است که بار انرژی را روی گره‌های شبکه توزیع کرده است، در آن از مسیریابی سلسله مراتبی مبتنی بر خوشه بهره گرفته است. هدف از این پروتکل کاهش انرژی مصرفی گره‌ها به منظور بهبود طول عمر شبکه حسگر بی‌سیم است. در این الگوریتم با هدف مصرف انرژی متوازن، نقش سرخوشه در هر دور بین گره‌های موجود در خوشه می‌چرخد. ارتباط گره‌ها با سرخوشه، با استفاده از روش TDMA[۳] صورت می‌گیرد. الگوریتم LEACH از دو مرحله تشکیل شده است ۱. مرحله راه‌اندازی ۲. مرحله حالت پایدار. در مرحله راه‌اندازی خوشه‌ها تشکیل می‌شوند و در مرحله حالت پایدار، پیام-ها به سرخوشه ارسال شده، پس از دریافت و تجمیع به ایستگاه پایه ارسال می‌شود. در دور اول، مقداری تصادفی بین ۰ و ۱ برای هر گره در نظر گرفته می‌شود و در صورتی که این مقدار برای هر گره از حد آستانه تعیین شده کمتر باشد این گره به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. در این پروتکل خوشه‌هایی با اندازه یکسان ایجاد می‌شود. با توجه به اهمیت صرفه‌جویی در مصرف انرژی در نظر نگرفتن "انرژی باقیمانده گره" درهنگام انتخاب سرخوشه و انتخاب تصادفی سرخوشه در ابتدای هر دور موجب مصرف غیر یکنواخت انرژی و پایدار نبودن شبکه می‌شود.

HEED[۴] [۱۵] یکی دیگر از الگوریتم‌های خوشه‌بندی غیرفازی است. در این روش دو معیار از انرژی باقیمانده و هزینه ارتباطات داخل خوشه به منظور انتخاب سرخوشه استفاده می‌شود. در این الگوریتم از ارسال چندپرشه در خارج از خوشه استفاده می‌شود. به علت در نظر گرفتن هزینه ارتباطی به عنوان یکی از پارامترها، در

این روش بر خلاف پروتکل LEACH احتمال اینکه دو سرخوشه در دامنه ارتباطی هم قرار داشته باشند بسیار کم است. استفاده از این روش باعث افزایش طول عمر شبکه می‌شود اما گره‌هایی که در نزدیکی ایستگاه پایه قرار دارند انرژی خود را به علت مصرف غیریکنواخت به سرعت از دست می‌دهند.

۲-۳- خوشه‌بندی فازی

DUCF[۵] [۱۶] یک الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر سیستم فازی است. در این الگوریتم برای تشکیل خوشه از معیارهایی مانند "انرژی باقیمانده"، "درجه هر گره" و" فاصله تا ایستگاه پایه برای هر گره" استفاده شده است. در DUCF از خوشه‌بندی نابرابر استفاده شده که مصرف متوازن انرژی را در پی‌داشته است. مزیت این روش استفاده از خوشه‌بندی نابرابر و بهره‌گیری از سیستم فازی است. از معایب این الگوریتم، انجام عمل خوشه‌بندی و انتخاب سرخوشه در هر دور است که افزایش مصرف انرژی را به همراه دارد.

MOFCA[۶] [۱۷] یکی دیگر از الگوریتم‌های خوشه‌بندی مبتنی بر سیستم فازی است. در این روش از "انرژی باقیمانده "، "فاصله تا ایستگاه پایه" و "چگالی هر گره " به عنوان پارامترهای فازی استفاده شده است . این الگوریتم برای انتخاب سرخوشه از شعاع رقابتی مبتنی بر انرژی استفاده می‌کند. ارائه این الگوریتم به منظور حل مشکل "چاله انرژی" و "منطقه داغ[۷]" بوده است. از مزایای این روش استفاده از خوشه‌بندی نابرابر است که مصرف متوازن انرژی را در پی دارد. اجرا خوشه‌بندی در هر دور را می‌توان از معایب این روش درنظر گرفت.

EAUCF[۸] [۱۸] یک روش خوشه‌بندی مبتنی بر سیستم فازی است و به منظور افزایش طول عمر شبکه ارائه شده است. در این الگوریتم از" انرژی باقیمانده" و" فاصله تا ایستگاه پایه" به عنوان پارامترهای ورودی فازی استفاده شده است. در این روش به‌منظور بهبود عملکرد روش‌های پیشین به طور کامل از رویکرد احتمالی برای انتخاب گره‌ها استفاده نشده است و نیز چرخش دوره‌ای نقش سرخوشه با استفاده از سیستم فازی صورت می‌گیرد. این الگوریتم در شبکه‌های ایستا باعث افزایش طول عمر شبکه می‌شود اما در شبکه‌های پویا مناسب نیست. نیاز به تخمین اندازه خوشه‌ها قبل از خوشه‌بندی، موجب پیچیدگی این الگوریتم شده که از معایب این روش است. یکی دیگر از اشکالات این روش در نظر نگرفتن "چگالی گره‌ها" به‌عنوان یک پارامتر برای انتخاب گره سرخوشه است، در نتیجه این اقدام، ممکن است گره‌ای با تعداد همسایه‌های کم به عنوان سرخوشه انتخاب شود. از مزایای این الگوریتم می‌توان به پایدار بودن آن اشاره کرد.

الگوریتم EAFCA[۹] [۱۹] به منظور بهبود خوشه‌بندی با استفاده از سیستم فازی در شبکه حسگر بیسیم ارائه شده است. در این الگوریتم از ارسال چندپرشه در داخل هر خوشه به منظور انتقال اطلاعات به سرخوشه استفاده شده است و شعاع رقابتی در نظر گرفته شده برای هر خوشه به اندازه دو پرش است. این الگوریتم از پارامترهای " انرژی باقیمانده"،" چگالی هر گره" و" میزان مرکز-گرایی" برای انتخاب سرخوشه استفاده می‌کند. از مزایای این روش در نظرگرفتن ارتباطات داخل خوشه به صورت چندپرشه است. در این الگوریتم، خوشه‌بندی در هر دور انجام می‌شود که موجب کاهش طول عمر شبکه و افزایش تعداد پیام‌های کنترلی ارسالی می‌شود که آن را می‌توان از اشکالات این الگوریتم در نظر گرفت.

الگوریتم FLECH [۲۰] الگوریتم خوشه‌بندی سلسله مراتبی بر اساس سیستم فازی است. در این الگوریتم برای انتخاب سرخوشه از "انرژی باقیمانده"، "میزان مرکزگرایی" و" فاصله تا ایستگاه پایه" استفاده شده است. از مزایای این روش انتخاب سرخوشه استفاده از رویکردی احتمالی و وزن‌دار است . انجام خوشه‌بندی در هر دور را می‌توان از معایب این روش دانست.

۴- الگوریتم پیشنهادی

در این بخش به بیان و بررسی الگوریم پیشنهادی می‌پردازیم.

۴-۱- مدل سیستم

فرضیات الگوریتم ارائه شده به صورت زیر است :

- تمامی گره‌ها همگن بوده، دارای انرژی اولیه یکسان هستند.
- توزیع گره‌ها در شبکه به صورت تصادفی است.
- ساعت تمامی گره‌های سیستم، یکسان در نظر گرفته شده است.
- تمامی گره‌ها و ایستگاه پایه ایستا هستند.
- برای بدست آوردن فاصله از روش اقلیدسی استفاده شده است.
- داده‌ها توسط سرخوشه به صورت چندپرشه و در شرایط خاص به صورت تک‌پرشه به ایستگاه پایه ارسال می‌شود.
- گره‌هایی که در فاصله R نسبت به یک گره مشخص قرار می-گیرند به عنوان همسایه‌های آن گره در نظر گرفته می‌شوند.

مدل مصرف انرژی برای ارسال بسته داده L بیتی از فرستنده به گیرنده که در فاصله d نسبت به یکدیگر قرار گرفته‌اند به صورت زیر است :

$$E_{tx}(l,d)=\begin{cases} l*E_{elec}+l*\varepsilon_{fs}*d^2 & if \quad d<d_0 \\ l*E_{elec}+l*\varepsilon_{mp}*d^4 & if \quad d>d_0 \end{cases} \qquad (۱)$$

مقدار d_0 به صورت زیر محاسبه می‌شود :

$$d_0=\sqrt{\frac{\varepsilon_{fs}}{\varepsilon_{mp}}} \qquad (۲)$$

E_{elec} میزان مصرف انرژی در مدار برای ارسال هر بیت داده از فرستنده به گیرنده در نظر گرفته می‌شود. $\mathcal{E}_{fs}$ میزان مصرف انرژی برای ارسال در فضای باز و $\mathcal{E}_{mp}$ میزان مصرف انرژی برای انتشار چند مسیره است. E_{RX} انرژی لازم برای دریافت اطلاعات توسط گیرنده محسوب می‌شود که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$E_{RX} = l * E_{elec} \quad (۳)$$

۲-۴- بیان جزئیات الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی از دو بخش خوشه‌بندی و مسیریابی انرژی کارا با استفاده از سیستم فازی تشکیل شده است. هدف از ارائه این الگوریتم، بهبود در عملکرد شبکه حسگر بیسیم با کاهش تعداد دفعات خوشه‌بندی با در نظر گرفتن حد آستانه ثابت، استفاده از خوشه‌بندهای متفاوت و ارائه یک رویکرد ترکیبی برای ارسال اطلاعات به ایستگاه پایه است. اصطلاحات و توابع مورد استفاده در این مقاله در جدول ۱ آورده شده است. ادامه مقاله به بیان جزئیات این الگوریتم می‌پردازیم و نحوه عملکرد الگوریتم پیشنهادی در شکل ۴ و به صورت فلوچارت قابل مشاهده است.

ویژگی‌های کلی الگوریتم پیشنهادی به صورت زیر است :

- خوشه‌بندی توزیعی مبتنی بر سیستم فازی همراه با خوشه‌های نابرابر و عدم خوشه‌بندی در هر دور به منظور کاهش توامان مصرف انرژی و تعداد پیام‌های کنترلی ارسالی، استفاده از پارامترهای ورودی فازی پارامترهای ورودی فازی متفاوت در هر خوشه‌بند با هدف پیدا کردن بهترین گره از نظر میزان" انرژی باقیمانده" و "جایگاه فیزیکی" مناسب در هر خوشه.
- در نظر گرفتن حد آستانه ثابت برای سرخوشه‌ها به منظور کاهش دفعات خوشه‌بندی مجدد و استفاده از حداکثر توان گره سرخوشه.
- استفاده از رویکرد چندپرشه با بدست آوردن مسیر مناسب برای انتقال پیام‌ها از هر سرخوشه به ایستگاه پایه.

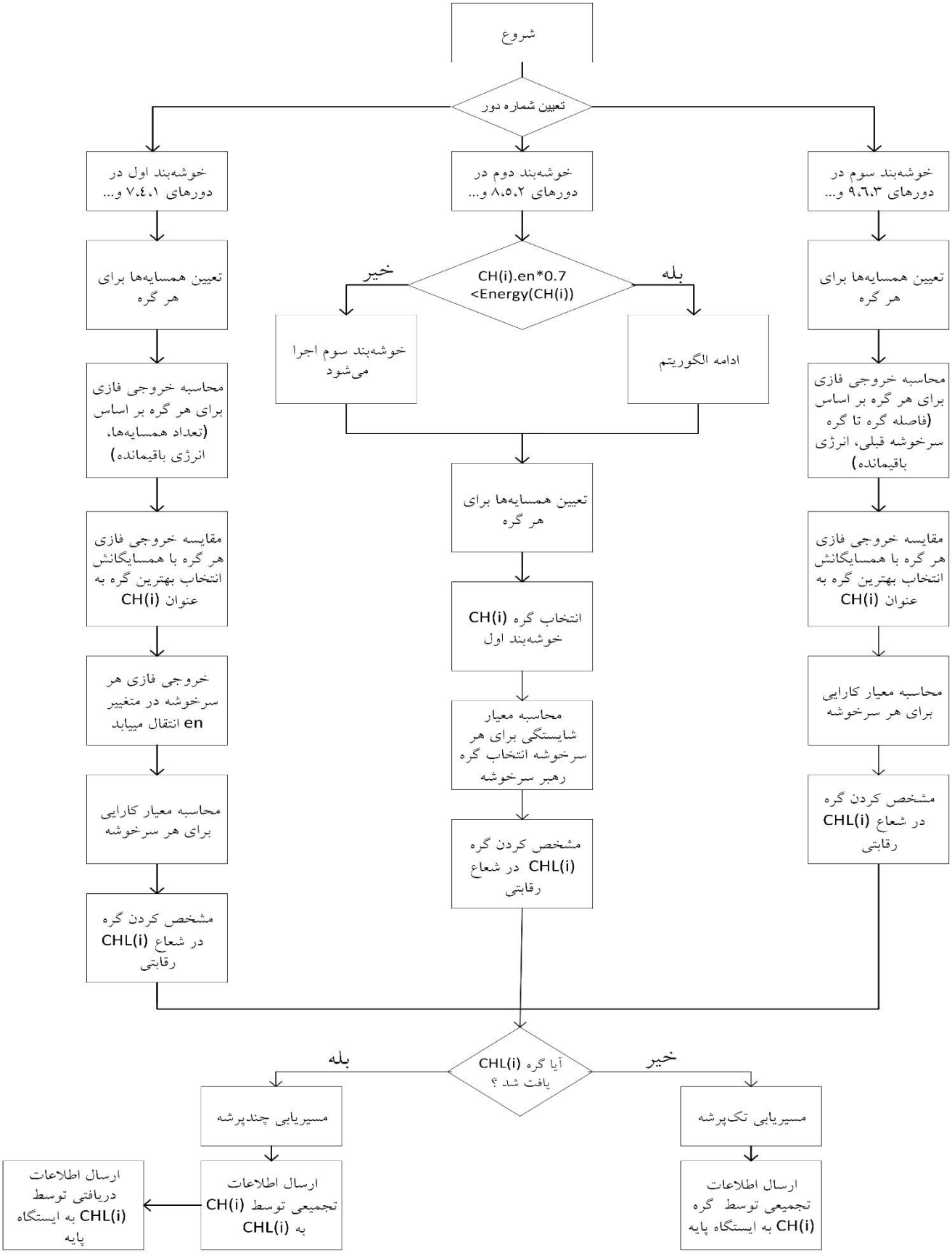
۱-۲-۴- خوشه‌بند اول

بهبود مصرف انرژی در شبکه حسگر به عنوان یک پارامتر اساسی برای مقایسه الگوریتم‌های خوشه‌بندی در نظر گرفته می‌شود. هرچه مصرف انرژی کمتر شود کارایی شبکه افزایش می‌یابد. افزایش تعداد گره‌های همسایه افزایش چگالی را در پی دارد، بنابراین تعداد همسایه‌های هر گره به عنوان دومین پارامتر فازی در خوشه‌بند اول در نظر گرفته می‌شود. توازن تعداد گره‌ها در خوشه‌ها، مصرف متوازن انرژی در شبکه را در پی دارد. از این رو"انرژی باقیمانده" و" تعداد همسایه‌های" هرگره به عنوان پارامترهای ورودی فازی خوشه‌بند اول در نظر گرفته شده است و این خوشه بند در دورهای ۱،۴،۷و.... اجرا می‌شود. توابع عضویت این پارامترها در شکل‌های ۵ و ۶ آورده شده است.

در خوشه‌بند اول از "انرژی هر گره" و" تعدادهمسایه هر گره" به عنوان ورودی سیستم فازی استفاده می‌شود و با توجه به قوانین فازی مربوط به این خوشه‌بند که در جدول ۲ و شکل ۷ بیان شده است، مقداری بین ۰ و ۱ به عنوان شانس برای هر گره درنظر گرفته می‌شود.

جدول۱ : اصطلاحات مقاله

گره عضو خوشه که وظیفه دریافت داده‌های محیطی را برعهده دارد	CM
گره سرخوشه که وظیفه تجمیع داده‌های محیطی دریافتی از گره‌ها و ارسال آنها به ایستگاه پایه را بر عهده دارد	CH
گره رهبر سرخوشه، داده‌های تجمیعی توسط گره سرخوشه را به ایستگاه پایه منتقل می‌کند	CHL
ایستگاه پایه	BS
شماره دور	R
معیار شایستگی برای هر سرخوشه (فاصله/انرژی)	Criterion()
انرژی باقیمانده گره در هر لحظه	Energy()
شعاع رقابت برای بدست آوردن گره رهبر سرخوشه	Competition Radius()
مقدار خروجی فازی	FuzzyOutput()
اولین گره مرده	FND
نیمی از گره‌های مرده	HND
آخرین گره مرده	LND

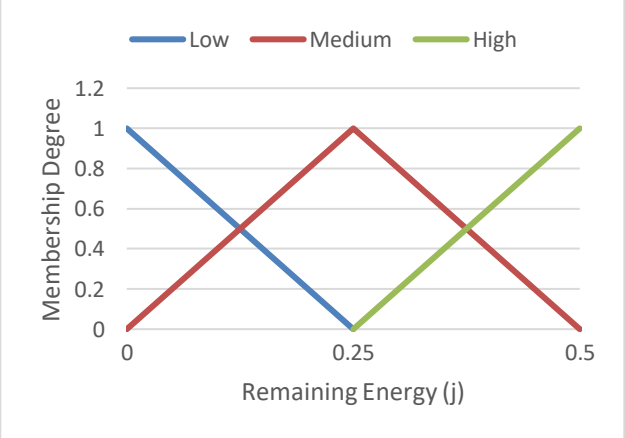


شکل ۴ : فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

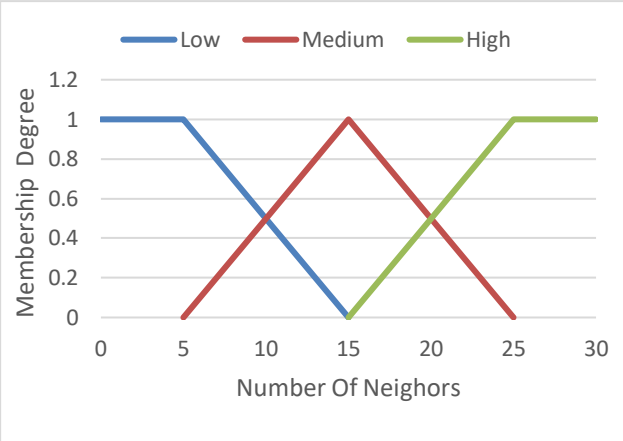
هر گره پس از مشخص شدن اندازه شانس، آن را به صورت همه-پخشی در شعاع سیگنال خود ارسال می‌کند و گره‌های دریافت کننده پیام، مقدار شانس خود را با سایر گره‌ها مقایسه می‌کنند. گره‌ای با بیشترین مقدار شانس در شعاع همسایگی خود، به عنوان سرخوشه معرفی می‌شود و پیام سرخوشه شدن را به صورت همه-پخشی در شعاع سیگنال خود ارسال می‌کند. گره دریافت‌کننده پیام فوق، در صورت قوی بودن سیگنال دریافتی، پیام عضویت را به گره سرخوشه می‌فرستد و به عنوان عضوخوشه انتخاب می‌شود. اگر یک گره، دو یا چند پیام سرخوشه شدن دریافت کند به درخواست کاندیدی پاسخ مثبت می‌دهد، که شناسه کمتری داشته باشد. گره سرخوشه مقدار خروجی فازی خود را در متغییر (en) ذخیره می‌کند.

جدول ۲ : قوانین فازی خوشه‌بند اول

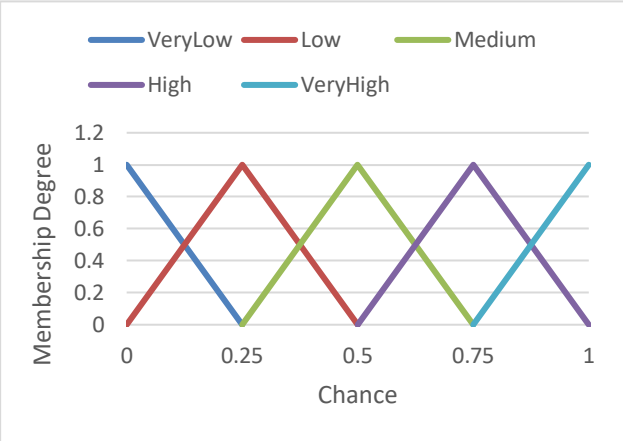
تعداد همسایه‌ها	انرژی باقیمانده	شانس
کم	کم	خیلی کم
کم	متوسط	کم
کم	زیاد	متوسط
متوسط	کم	کم
متوسط	متوسط	متوسط
متوسط	زیاد	متوسط
زیاد	کم	متوسط
زیاد	متوسط	زیاد
زیاد	زیاد	خیلی زیاد



شکل ۵ : تابع عضویت ورودی انرژی باقیمانده



شکل ۶ : تابع عضویت ورودی تعداد همسایه‌ها



شکل ۷ : تابع عضویت خروجی شانس در خوشه

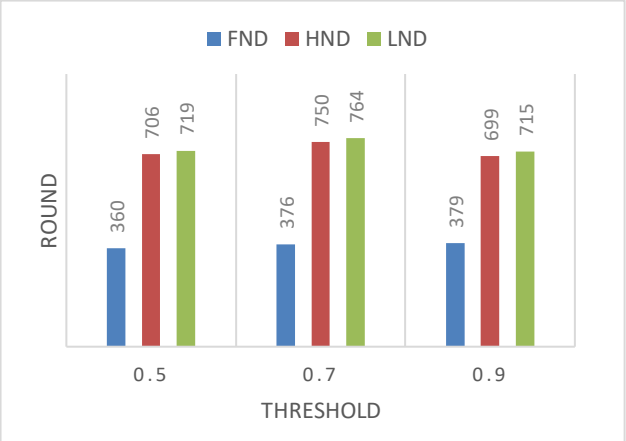
۲-۲-۴- خوشه‌بند دوم

در پایان خوشه‌بند اول از آنجایی که انرژی گره‌ها و همچنین تعداد همسایه‌های آن‌ها دست خوش تغییرات زیادی نشده است، لذا به احتمال فراوان در مرحله بعد نیز سرخوشه‌های فعلی انتخاب می‌شوند، بنابراین در خوشه‌بند دوم، انتخاباتی برگزار نمی‌شود و همان سرخوشه‌ها کار خود را ادامه می‌دهند. پس از آنکه سرخوشه-ها در خوشه‌بند اول مشخص شدند، مقدار انرژی آنها در متغیر (en) ذخیره می‌گردد. اگر تمامی سرخوشه‌ها در پایان خوشه‌بند اول، انرژی جاری بیش از ضرب مقدار آستانه در متغیر(en) داشته باشند باز هم در خوشه‌بند دوم قرار می‌گیرند. در غیر اینصورت کل گره‌ها به خوشه‌بند سوم رفته و کار خود را در این خوشه‌بند آغاز می‌کنند. به منظور انتخاب آستانه‌ی مناسب مقادیر ۰,۵ تا ۰,۹ مورد آزمایش قرار گرفته است و استفاده از حد آستانه با مقدار ۰,۷، بر اساس مقایسه صورت گرفته در شکل ۸، موجب افزایش طول عمر شبکه شده است. از این رو این مقدار به عنوان حد آستانه انتخاب شده است و تا پایان عمر شبکه ثابت و ایستا باقی می‌ماند.

تعریف حد آستانه بیان شده به صورت زیر است:

$$en = FuzzyOutput(CH(i)) \quad (۴)$$

$$Th = (en) * 0.7 \quad (۵)$$

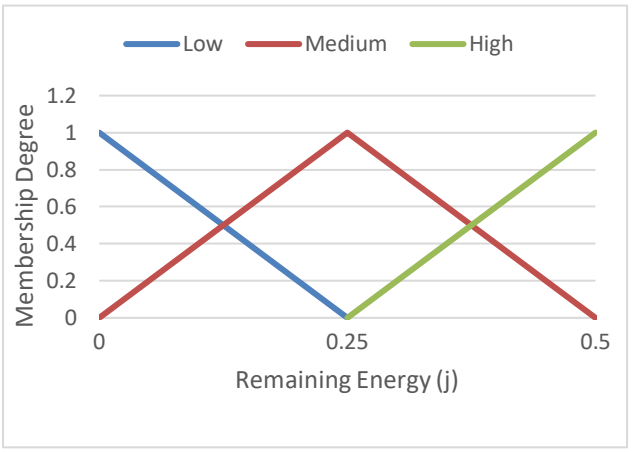


شکل ۸ : مقایسه حد آستانه

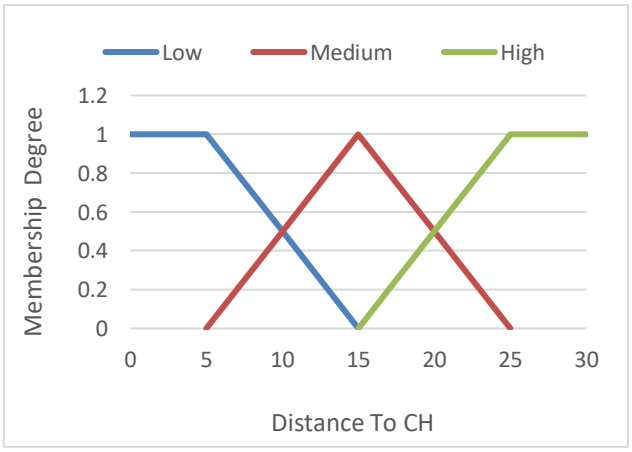
۳-۲-۴- خوشه‌بند سوم

خوشه‌بند سوم در دورهای ۹،۶،۳و... اجرا می‌شود. به علت عدم انجام خوشه‌بندی در خوشه‌بند دوم و کاهش انرژی گره‌ها در اثر فعالیت شبکه و نیز اهمیت انرژی گره‌ها به عنوان یکی از پارامتر-های مهم در عملکرد شبکه حسگر، از " انرژی باقیمانده گره" به عنوان یکی از ورودی‌های سیستم فازی در خوشه‌بند سوم استفاده می‌شود. علاوه بر انرژی باقیمانده، محل قرار گرفتن هر گره در خوشه نیز دارای اهمیت است، بنابراین "فاصله هر گره تا سرخوشه مرحله قبل " به عنوان دومین ورودی سیستم فازی در این خوشه-بند استفاده شده است. توابع عضویت پارامترهای ورودی سیستم فازی این خوشه‌بند در شکل‌های ۹ و ۱۰ آورده شده است. با توجه به قوانین فازی مربوط به این خوشه‌بند که در جدول۳ و شکل ۱۱ قابل مشاهده است، مقداری بین ۰ و ۱ به عنوان شانس برای هر گره درنظر گرفته می‌شود. هر کدام از گره‌ها، اندازه شانس خود را به صورت همه‌پخشی ارسال می‌کند و گره‌های دریافت کننده پیام، مقدار شانس خود را با سایر گره‌ها مقایسه می‌کنند. گره‌ای که بیشترین مقدار شانس را داشته باشد خود را به عنوان سرخوشه انتخاب می‌کند و پیام سرخوشه شدن را به صورت همه‌پخشی ارسال می‌کند. گره دریافت کننده پیام فوق در صورت قوی بودن سیگنال دریافتی، پیام عضویت در خوشه را به گره سرخوشه می-فرستد و به عنوان عضو خوشه انتخاب می‌شود. اگر یک گره، دو یا چند پیام سرخوشه شدن دریافت کند به درخواست کاندیدی پاسخ مثبت می‌دهد که شناسه کمتری داشته باشد.

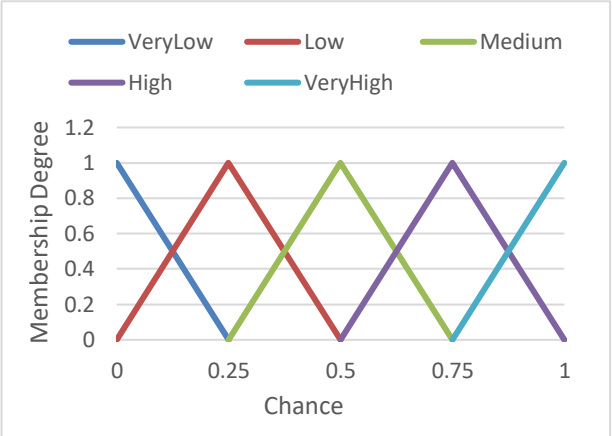
در الگوریتم پیشنهادی بهترین گره‌ها در خوشه‌بند اول به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند و با اعتماد به آنها در خوشه‌بند دوم انتخابی رخ نمی‌دهد. این اقدام کاهش تعداد پیام‌های‌کنترلی ارسالی را در پی دارد. به علت عدم خوشه‌بندی دورهای ۶،۴،۲،... گره‌های انتخابی در دور اول از کاهش انرژی رنج می‌برند، بنابراین در خوشه‌بند سوم خوشه‌بندی انجام می‌شود. سرخوشه‌های انتخابی در خوشه‌بند سوم نقش جانشین را داشته و انتخاب‌های صورت گرفته تحت تاثیر انتخاب‌ها در خوشه‌بند اول است و لزوما بهترین گره‌ها نیستند. این خوشه‌بند به منظور ریکاوری سرخوشه‌های انتخابی در خوشه‌بند اول که تاکنون انرژی بسیاری از دست داده اند، اجرا می‌شود. در خوشه‌بند اول و خوشه‌بند سوم پارامترهای ورودی فازی متفاوتی در نظر گرفته شده است، با توجه به آنچه قبلا بیان شد انرژی به عنوان معیاری مهم در شبکه حسگر بیسیم در نظر گرفته می‌شود لذا در هر دو خوشه‌بند از این پارامتر استفاده شده است. علاوه براین تعداد همسایه‌ها اهمیت زیادی در خوشه-بندی دارد. بنابراین گره انتخابی به عنوان سرخوشه باید از نظر انرژی و مکان فیزیکی شرایط مناسبی داشته باشد.



شکل ۹ : تابع عضویت ورودی انرژی



شکل ۱۰ : تابع عضویت ورودی فاصله تا گره سرخوشه



با توجه به مطالب بیان شده در قسمت مربوط به خوشه‌بندی

شکل ۱۱ : تابع عضویت خروجی فازی خوشه‌بند سوم

جدول ۲ : قوانین فازی خوشه‌بند سوم

فاصله تا سرخوشه	انرژی باقیمانده	شانس
کم	کم	خیلی کم
کم	متوسط	کم
کم	زیاد	متوسط
متوسط	کم	کم
متوسط	متوسط	متوسط
متوسط	زیاد	متوسط
زیاد	کم	متوسط
زیاد	متوسط	زیاد
زیاد	زیاد	خیلی زیاد

الگوریتم پیشنهادی، ممکن است این سوال در ذهن خواننده ایجاد شود، که اگر چندین شانس برابر وجود داشته باشد، تصمیم‌گیری در مورد سرخوشه اصلی چگونه خواهد بود؟ با توجه به اینکه هر گره به طور مستقل از سایر گره‌ها، انتخاب را انجام می‌دهد، آیا این امکان وجود دارد که در موارد مشابه انتخاب‌ها متفاوت باشند؟

در پاسخ به این پرسش، باید در نظر داشت که این امکان محتمل است. اگر در منطقه‌ای، چندین گره با شانس یکسان، کاندید سرخوشه شدن باشند، هیچ مانعی بر سر حضور هم زمان این گره‌ها نخواهد بود، در این شرایط گره‌های کاندید، پیام سرخوشه شدن را به گره‌های همسایه همه‌پخشی می‌کنند، گره‌های دریافت کننده این پیام به گره کاندیدی پاسخ مثبت می‌دهند که شناسه کمتری داشته باشد. با توجه به ارزیابی انجام شده، برای هر گره به طور متوسط ۱.۷ گره کاندید با شانس یکسان وجود دارد و از میان آنها گره‌ای به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود که شناسه اختصاص داده به آن کوچکتر باشد.

۴-۲-۴- مسیریابی

هدف از طراحی پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بیسیم کاهش میزان مصرف انرژی است. بنابراین انتخاب یک استراتژی مناسب به منظور مسیریابی و استفاده از تعداد پرش‌های مناسب با توجه به فاصله گره تا ایستگاه پایه در بهبود عملکرد و افزایش طول عمر شبکه تاثیرگذار است. در این مقاله از یک رویکرد چندپرشه به منظور ارسال داده به ایستگاه پایه استفاده شده است. در الگوریتم پیشنهادی با اتمام خوشه‌بندی در هر دور و ارسال داده‌های محیطی حسی توسط هر گره به سرخوشه، این گره نسبت به تجمیع داده‌های دریافتی اقدام کرده، آن را از طریق گره رهبرسرخوشه به صورت چندپرشه به ایستگاه پایه ارسال می‌کند. گره رهبر سرخوشه از میان سرخوشه‌های منتخب و بر اساس معیار شایستگی انتخاب می‌شود. معیار شایستگی ترکیبی از " فاصله تا ایستگاه پایه" و" انرژی باقیمانده" گره است. معیار شایستگی برای انتخاب گره رهبر-سرخوشه به صورت زیر است :

$$criterion\big(CH(i)\big) = \frac{Distance\ to\ Bs(CH(i))}{Energy(CH(i))} \qquad (۶)$$

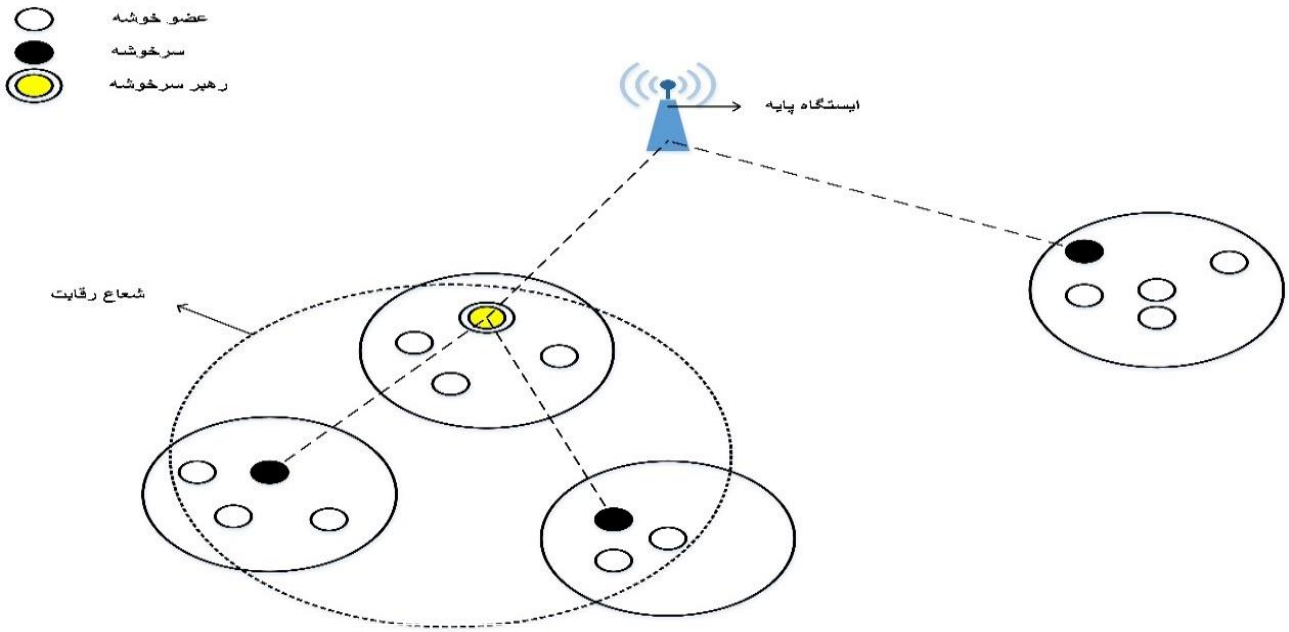
شعاع رقابتی برای انتخاب گره رهبر از میان سرخوشه‌های موجود از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$competitoin\ radius = \frac{CH(i)Distance\ to\ Bs}{2} \qquad (۷)$$

اگر گره سرخوشه CH(j) و CH(k) در شعاع رقابت برای انتخاب به عنوان رهبر سرخوشه CH(i) حضور داشته باشند، سرخوشه‌ای به عنوان CHL(i) انتخاب می‌شود که معیار شایستگی بزرگتری را در اختیار دارد. در این الگوریتم به منظور ارسال اطلاعات به ایستگاه پایه از دو نوع مسیریابی تک‌پرشه و چندپرشه استفاده می‌شود. اگر در شعاع رقابتی در گره سرخوشه CH(i)، گره سرخوشه دیگری با معیار شایستگی مناسب یافت نشود، از رویکرد تک‌پرشه برای ارسال اطلاعات به ایستگاه پایه استفاده می‌شود. شکل۱۲، نحوه مسیریابی در الگوریتم پیشنهادی به دو صورت تک‌پرشه و چندپرشه نشان می‌دهد.

۵- شبیه‌سازی

الگوریتم پیشنهادی، به منظور ارزیابی مقیاس پذیری از حیث تعداد گره، ابعاد شبکه و موقعیت ایستگاه پایه، در چهار سناریو مختلف



شکل ۱۲ : مسیریابی الگوریتم پیشنهادی به صورت چندپرشه

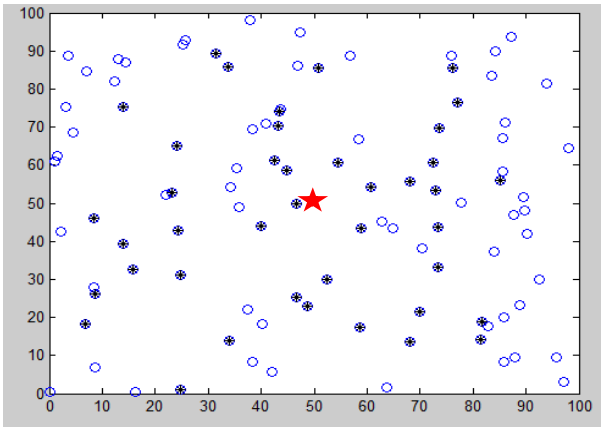
پیاده‌سازی شده با الگوریتم‌های MOFCA، EAFCA، EAUCF، FLECH و DUCF در شرایط یکسان مقایسه شده است. به منظور بررسی الگوریتم‌ها از معیارهای" طول عمر شبکه" که شامل پارامتر-های FND، HND و LND است، " نرخ انرژی مصرفی در هر دور" و" تعداد گره‌های مرده در هر دور" استفاده شده است. به منظور شبیه سازی سناریوها از نرم افزار MATLAB استفاده شده است.

۱-۵- سناریو ۱

در این سناریو، محیط کاری با ابعاد ۱۰۰ × ۱۰۰ مترمربع در نظر گرفته شده است. تعداد ۱۰۰ گره با انرژی اولیه ۰,۵ ژول به صورت تصادفی در محیط پخش شده‌اند و ایستگاه پایه در مرکز و با مختصات (۵۰و۵۰) مطابق شکل ۱۳، قرار گرفته است و به شکل ستاره، مشخص شده است. پارامترهای شبیه سازی این سناریو در جدول ۴، قابل مشاهده است.

طول عمر شبکه، اولین پارامتر بررسی شده در این سناریو است و نتایج حاصل از این بررسی در شکل ۱۴، آورده شده است.

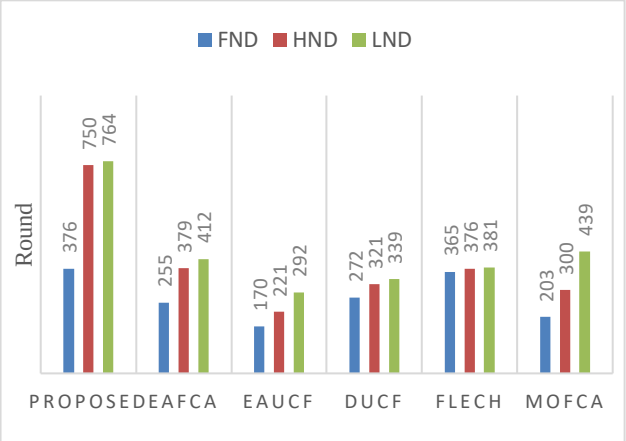
در الگوریتم پیشنهادی، عدم استفاده از خوشه‌بندی در هر دور، موجب کاهش تعداد پیام‌های کنترلی تبادل شده بین گره‌های شبکه می‌شود. استفاده از مسیریابی ترکیبی چندپرشه و تک‌پرشه باعث بهبود مصرف انرژی در شبکه حسگر شده است. شکل ۱۴، بیانگر نتایج بدست آمده از مقایسه الگوریتم‌ها از حیث پارامترهای طول عمر شبکه است. با توجه به نتایج، الگوریتم پیشنهادی موجب بهبود مقادیر FND، HND و LND شده است.



شکل ۱۳ : محیط کاری سناریو شماره ۱

جدول ۴ : پارامترهای سناریو ۱

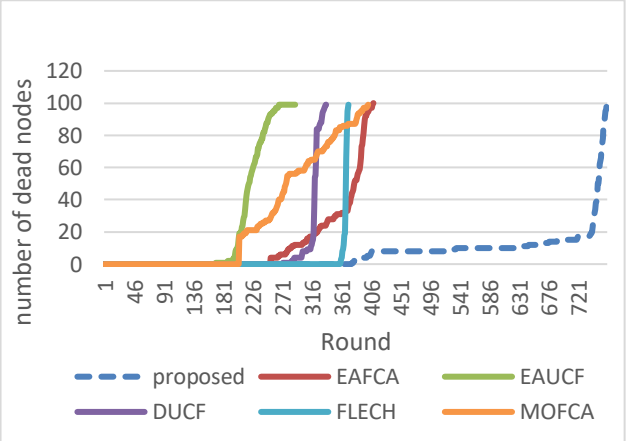
پارامتر	مقدار
ابعاد محیط کاری	۱۰۰ × ۱۰۰
مختصات ایستگاه پایه	(۵۰,۵۰)
تعداد گره‌ها	۱۰۰
اندازه بسته داده	۵۰۰ *byte*
اندازه بسته کنترلی	۲۵ *byte*
E_{elec}	۵۰ nJ/bit
ε_{mp}	۰/۰۰۱۳ $pJ/bit/m^4$
ε_{fs}	۱۰ $pJ/bit/m^2$
انرژی اولیه	۰/۵ J



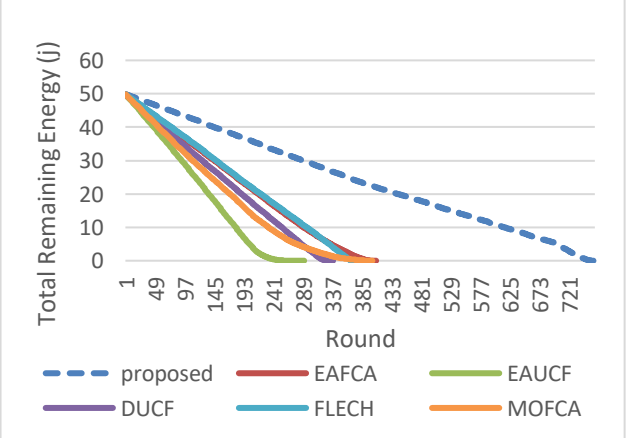
دومین معیار مورد بررسی قرار گرفته در این سناریو، مقایسه تعداد

شکل ۱۴ : طول عمر شبکه در سناریو

گره‌های مرده در هر دور است. نتایج حاصل از سنجش این پارامتر در شکل ۱۵، آمده است. نتایج بدست آمده بیانگر این واقعیت است که مصرف متوازن، انرژی موجب شده است که در هر دور، تعداد گره‌هایی که انرژی لازم برای فعالیت در شبکه را در اختیار ندارند به صورت یکنواخت افزایش پیدا کند. در نظر گرفتن حد آستانه ایستا موجب شده است که گره سرخوشه انتخابی، تعداد دوره‌های زیادی را ثابت باقی بماند.



شکل ۱۵ : تعداد گره‌های مرده در هر دور سناریو

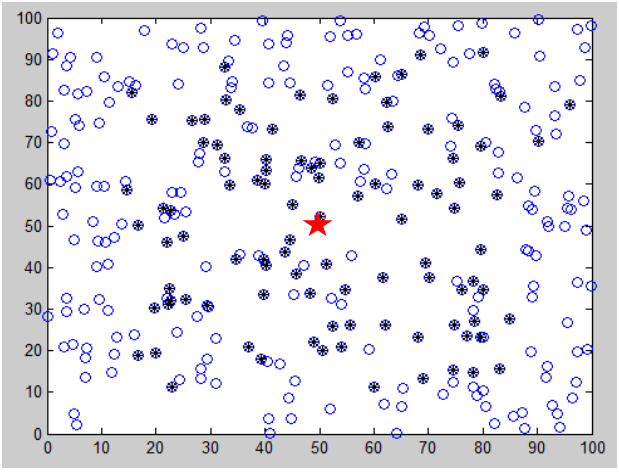


شکل ۱۶ : میزان انرژی باقیمانده شبکه در هر دور در سناریو

عدم خوشه‌بندی مجدد در هر دور و استفاده از مسیریابی چندپرشه موجب افزایش طول عمر شبکه شده است. مسیریابی ترکیبی در نظر گرفته شده برای پیدا کردن گره میانی مناسب، کاهش تعداد دفعات خوشه‌بندی و در نظر گرفتن " انرژی باقیمانده" و " تعداد همسایه" به عنوان پارامترهای ورودی سیستم فازی باعث ارائه رویکردی مناسب در تصمیم‌گیری‌های شبکه حسگر شده که نتیجه آن توازن در مصرف انرژی است.

۲-۵- سناریو ۲

هدف از سناریو دوم، بررسی تاثیر تعداد گره‌ها در عملکرد الگوریتم پیشنهادی است. در این سناریو، مطابق با شکل ۱۷، ایستگاه پایه در مرکز محیط کاری و به‌صورت ستاره، قرار گرفته است. ابعاد محیط ۱۰۰×۱۰۰ مترمربع و تعداد ۳۰۰ گره به صورت تصادفی در محیط پخش شده‌اند. پارامترهای شبیه سازی در این سناریو مطابق جدول ۵ است.

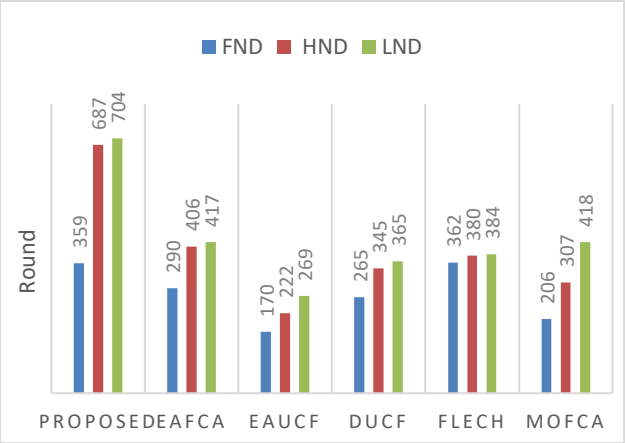


شکل ۱۷ : محیط کاری سناریو ۲

جدول ۵ : پارامترهای سناریو ۲

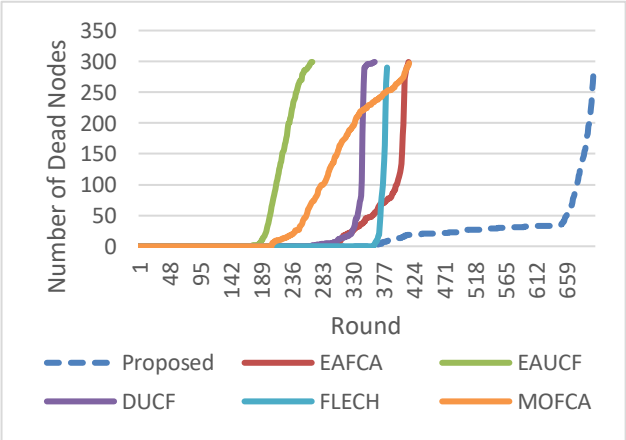
پارامتر	مقدار
ابعاد محیط کاری	۱۰۰ × ۱۰۰
مختصات ایستگاه پایه	(۵۰,۵۰)
تعداد گره‌ها	۳۰۰
اندازه بسته داده	۵۰۰ *byte*
اندازه بسته کنترلی	۲۵ *byte*
E_{elec}	۵۰ nJ/bit
ε_{mp}	۰/۰۰۱۳ $pJ/bit/m^4$
ε_{fs}	۱۰ $pJ/bit/m^2$
انرژی اولیه	۰/۵ J

همانند سناریو پیشین" طول عمر شبکه"، " تعداد گره‌های مرده در هر دور" و "نرخ مصرف انرژی در هر دور" بررسی شده است.
با افزایش تعداد گره‌ها در محیط کاری به مقایسه میزان مقیاس-پذیری الگوریتم از حیث چگالی گره‌ها می‌پردازیم. اولین پارامتر بررسی شده در این سناریو، طول عمر شبکه است. با توجه به شکل ۱۸، الگوریتم پیشنهادی، مقادیرHND و LND را بهبود داده است اما بهترین مقدار FND را دارا نیست. در الگوریتم پیشنهادی، عدم اجرا خوشه‌بندی در هر دور و استفاده از مسیریابی ترکیبی چندپرشه و تک‌پرشه، بهبود مصرف انرژی در شبکه حسگر را در پی داشته است.



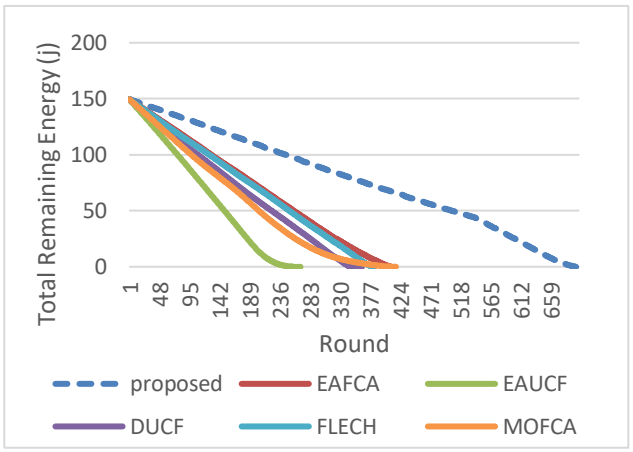
شکل ۱۸ : طول عمر شبکه سناریو شماره ۲

تعداد گره‌های مرده در هر دور، دومین پارامتر بررسی شده در این سناریو است. شکل ۱۹، نتایج حاصل از مقایسه الگوریتم‌های مختلف را نشان می‌دهد. در الگوریتم پیشنهادی، براساس نتایج بدست آمده، در هر دور تعداد گره‌هایی که انرژی لازم برای فعالیت در شبکه را در اختیار ندارند، به صورت یکنواخت افزایش یافته است.



شکل ۱۹ : تعداد گره‌های مرده هر دور سناریو ۲

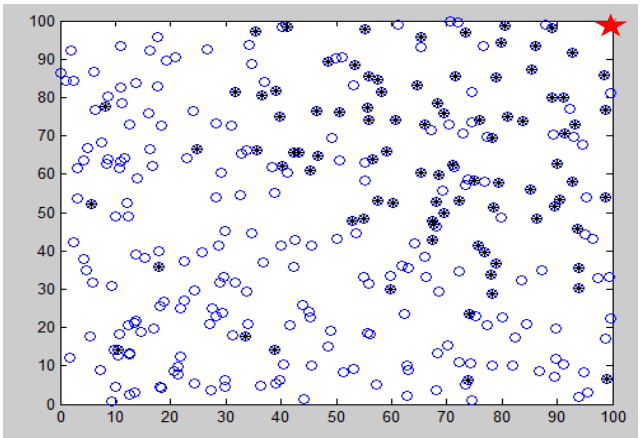
نرخ مصرف انرژی در هر دور، آخرین پارامتر درنظر گرفته شده به منظور مقایسه الگوریتم‌ها در این سناریو است. با توجه به نتایج حاصل مطابق شکل ۲۰، الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها، مصرف متوازن انرژی بهتری دارد.



شکل ۲۰ : میزان انرژی باقیمانده شبکه در هر دور سناریو ۲

۳-۵- سناریو ۳

در این سناریو محیط کاری ۱۰۰×۱۰۰ متر مربع در نظر گرفته شده است. ایستگاه پایه، به صورت ستاره در گوشه و در مختصات (۱۰۰و۱۰۰) قرار دارد و تعداد ۳۰۰ گره مطابق شکل ۲۱، به صورت تصادفی و با انرژی اولیه ۰٫۵ ژول در محیط پخش شده‌اند. پارامترهای شبیه سازی این سناریو در جدول۶، قابل مشاهده است. هدف از این سناریو، بررسی تاثیر افزایش فاصله ایستگاه پایه بر عملکرد شبکه است. در الگوریتم پیشنهادی از مسیریابی چندپرشه به منظور ارسال اطلاعات از هر سرخوشه به ایستگاه پایه استفاده شده است. طول عمر شبکه، اولین پارامتر بررسی شده در این سناریو



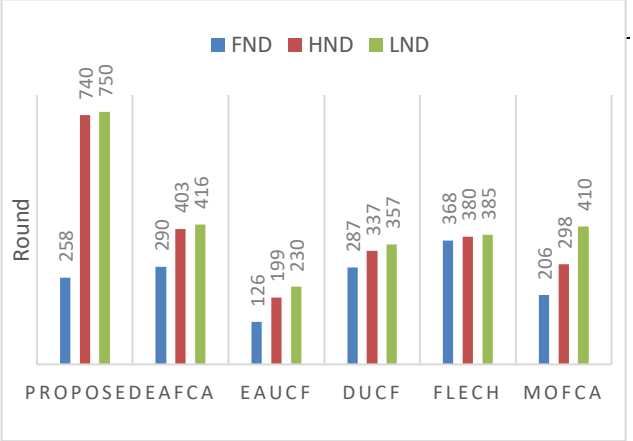
شکل ۲۱ : محیط کاری سناریو ۳

است که نتایج آن مطابق شکل ۲۲، است.
با توجه به نتایج بدست آمده ، الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها، مقادیر LND وHND را به صورت قابل توجهی

بهبود بخشیده است و استفاده از مسیریابی چندپرشه و کاهش تعداد دفعات خوشه‌بندی، افزایش طول عمر شبکه را در پی داشته است.

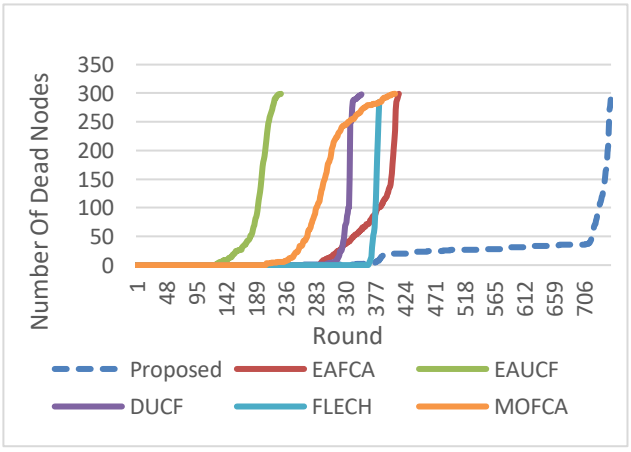
جدول ۶ : پارامترهای سناریو ۳

پارامتر	مقدار
ابعاد محیط کاری	۱۰۰ × ۱۰۰
مختصات ایستگاه پایه	(۱۰۰,۱۰۰)
تعداد گره‌ها	۳۰۰
اندازه بسته داده	۵۰۰ *byte*
اندازه بسته کنترلی	۲۵ *byte*
E_{elec}	۵۰ nJ/bit
ε_{mp}	۰/۰۰۱۳ $pJ/bit/m^4$
ε_{fs}	۱۰ $pJ/bit/m^2$



شکل ۲۲ : پارامترهای طول عمر شبکه سناریو ۳

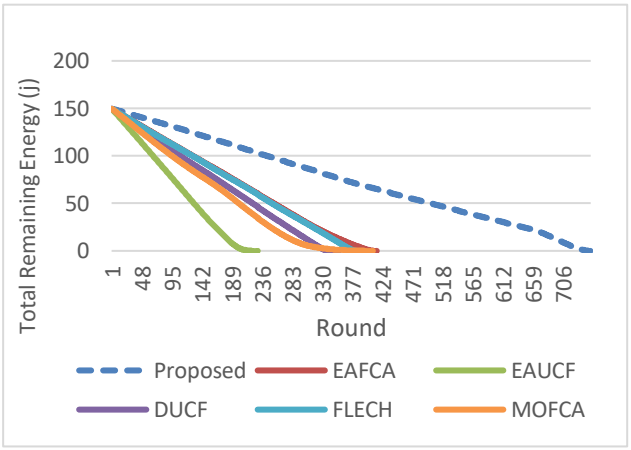
بابکارگیری الگوریتم پیشنهادی، طول عمر بیشتر شبکه و نیز افزایش یکنواخت تعداد گره‌های مرده در هر دور، را در پی داشته است که



شکل ۲۳ : گره‌های مرده در هر دور سناریو۳

در شکل ۲۳، قابل مشاهده است.

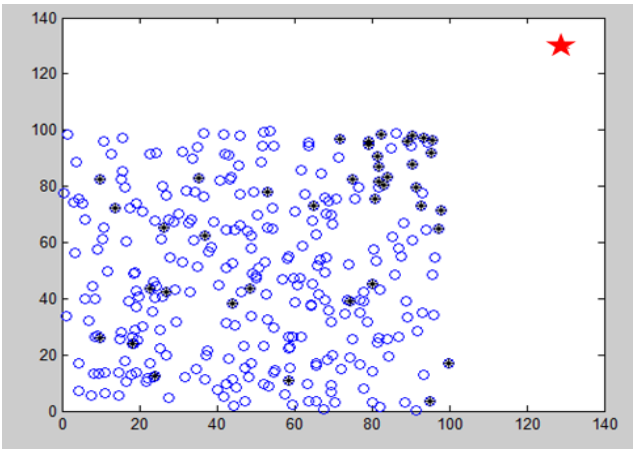
شکل ۲۴، نشان دهنده روند مصرف انرژی گره‌ها در طول عمر شبکه است. با توجه به نتایج بدست آمده، الگوریتم پیشنهادی علاوه بر افزایش طول عمر شبکه، موجب مصرف متوازن انرژی در هر دور نیز شده است.



شکل ۲۴ : میزان انرژی باقیمانده شبکه در هر دور سناریو ۳

۴-۵- سناریو ۴

در این آزمایش ابعاد محیط کاری ۱۰۰×۱۰۰ متر مربع در نظر گرفته شده است. تعداد ۳۰۰ گره با انرژی اولیه ۰٫۵ ژول مطابق شکل ۲۵، به صورت تصادفی در محیط پخش شده‌اند و ایستگاه پایه در خارج از محیط کاری و به شکل ستاره، در مختصات (۱۳۰و۱۳۰) واقع شده است. پارامترهای شبیه سازی این سناریو، مطابق جدول ۷، است.



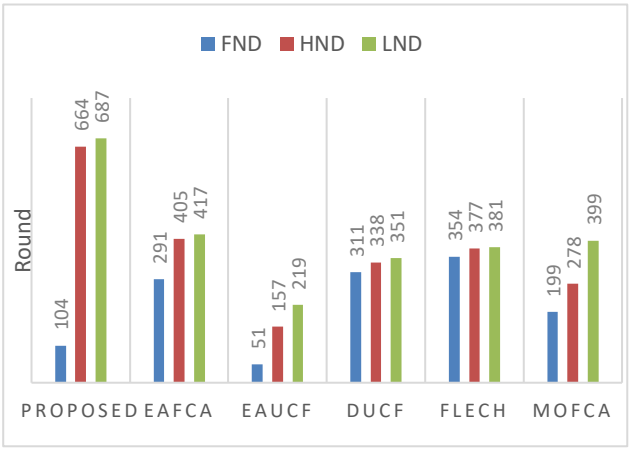
شکل ۲۵ : محیط کاری سناریو ۴

در این سناریو نسبت به سناریوهای پیشین، ایستگاه پایه در خارج از محیط کاری قرار گرفته، در نتیجه فاصله گره‌ها با ایستگاه پایه افزایش یافته است.

جدول ۷ : پارامترهای سناریو ۴

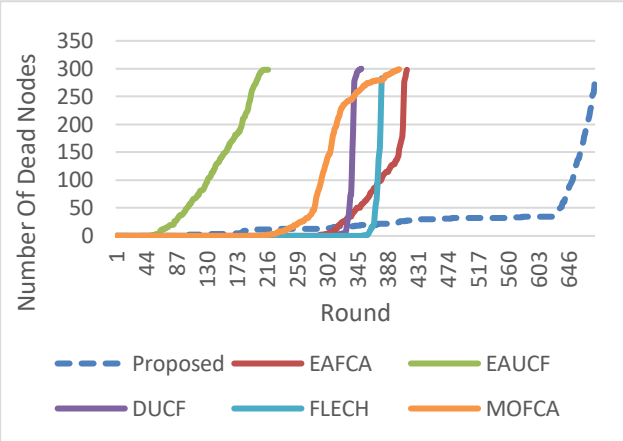
پارامتر	مقدار
ابعاد محیط کاری	۱۰۰ × ۱۰۰
مختصات ایستگاه پایه	(۱۳۰,۱۳۰)
تعداد گره‌ها	۳۰۰
اندازه بسته داده	۵۰۰ *byte*
اندازه بسته کنترلی	۲۵ *byte*
E_{elec}	۵۰ nJ/bit
ε_{mp}	۰/۰۰۱۳ $pJ/bit/m^4$
ε_{fs}	۱۰ $pJ/bit/m^2$
انرژی اولیه	۰/۵ J

نتایج حاصل از مقایسه الگوریتم‌ها در زمینه طول عمر شبکه در شکل۲۶، قابل مشاهده است. الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌ها موجب بهبود مقادیر پارامترهای LND و HND شده است اما بهترین مقدار FND را دارا نیست.

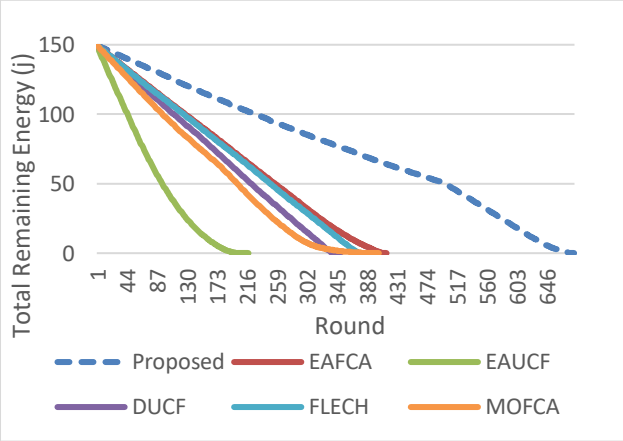


شکل ۲۶ : پارامترهای طول عمر شبکه سناریو

باتوجه به نتایج به دست آمده در شکل‌های ۲۷ و ۲۸، ارسال چند-پرشه اطلاعات از هر سرخوشه به ایستگاه پایه و کاهش تعداد دفعات خوشه‌بندی موجب کاهش تعداد پیام‌های کنترلی ارسالی و مصرف متوازن انرژی، کاهش تعداد گره‌های مرده در هر دور و عملکرد پایدارتر الگوریتم پیشنهادی نسبت به سایر الگوریتم‌ها شده است. علت انتخاب الگوریتم‌های MOFCA، EAFCA، EAUCF FLECH و DUCF و مقایسه آنها با الگوریتم پیشنهادی، میتوان به یکسان بودن نحوه انتخاب سرخوشه و خوشه‌بندی با ابعاد خوشه نابرابر در نظر گرفت. به عبارتی تلاش کرده‌ایم که در شرایط کاملا منصفانه الگوریتم پیشنهادی را با سایر الگوریتم‌های معتبر و جدید مقایسه



شکل۲۷ : گره‌های مرده در هر دور سناریو ۴



شکل ۲۸ : میزان انرژی باقیمانده شبکه در هر دور

کنیم.مهمترین وجوه تمایز الگوریتم پیشنهادی، عدم انجام خوشه‌بندی در هر دور و استفاده از یک روش مسیریابی ویژه است. جدول ۸، الگوریتم پیشنهادی و دیگر الگوریتم‌ها را از حیث شرایط و دیگر ویژگی‌های مشابه و متمایز مقایسه می‌کند.

به منظور مقایسه بهتر الگوریتم پیشنهادی با سایر روش‌ها، پارامتر های طول عمر شبکه با درنظر گرفتن تعداد گره‌های متفاوت و قرارگرفتن ایستگاه پایه در مرکز محیط کاری مورد ارزیابی قرار گرفته است و نتایج این بررسی در جدول ۹، قابل مشاهده است. بر اساس نتایج بدست آمده الگوریتم پیشنهادی، بهترین عملکرد را در افزایش طول عمر شبکه نسبت به سایر روش ها داشته است اما در برخی از موارد بهترین مقدار FND را در اختیار ندارد که می‌توان آن را نتیجه فعالیت گره سرخوشه انتخابی در دور اول در دورهای بعدی به عنوان سرخوشه در نظر گرفت که موجب کاهش سطح انرژی بیشتر این گره در مقایسه با سایر گره‌های شبکه می‌شود. جدول ۱۰، بیانگر میزان بهبود صورت گرفته در طول عمر شبکه توسط الگوریتم پیشنهادی در سناریوهای مختلف است.

جدول ۸: بررسی الگوریتم‌های خوشه‌بندی در شبکه حسگر بیسیم

الگوریتم	معیارهای انتخاب گره سرخوشه	خوشه با ابعاد نابرابر	ارتباطات داخل خوشه	ارتباطات خارج از خوشه	انجام خوشه‌بندی در هر دور
DUCF[۱۶]	• درجه هر گره • انرژی باقی‌مانده	*	تک‌پرشه	چندپرشه	*
MOFCA[۱۷]	• انرژی باقی‌مانده • فاصله تا ایستگاه پایه	*	تک‌پرشه	چندپرشه	*
EAUCF[۱۸]	• انرژی باقی‌مانده • فاصله تا ایستگاه پایه	*	تک‌پرشه	چندپرشه	*
EAFCA[۱۹]	• میزان مرکزگرایی • انرژی باقی‌مانده • میزان چگالی هر گره	*	چندپرشه	چندپرشه	*
FLECH[۲۰]	• میزان مرکزگرایی • انرژی باقی‌مانده • فاصله تا ایستگاه پایه	*	تک‌پرشه	تک‌پرشه	*
Proposed	• خوشه‌بند اول: انرژی باقیمانده – تعداد همسایه‌ها • خوشه‌بند دوم: در این خوشه‌بند انتخابی صورت نمی‌گیرد • خوشه‌بند سوم: انرژی باقیمانده – فاصله تا سرخوشه قبلی	*	تک‌پرشه	چندپرشه یا تک-پرشه در شرایط خاص	خوشه‌بندی با توجه به حد آستانه، در هر دور انجام نمی‌شود

جدول ۹. مقایسه پارامترهای طول عمر شبکه با تعداد گره‌های متفاوت

تعداد گره	۵۰			۱۰۰			۲۰۰			۳۰۰		
پارامترهای طول عمر شبکه	FND	HND	LND	FND	HND	LND	FND	HND	LND	FND	HND	LND
DUCF[۱۶]	۲۶۵	۲۸۳	۳۲۴	۲۷۲	۳۲۱	۳۳۹	۲۵۷	۳۲۴	۳۳۴	۲۶۵	۳۴۵	۳۶۵
MOFCA[۱۷]	۲۰۱	۲۶۵	۴۰۲	۲۰۳	۳۰۰	۴۳۹	۲۰۴	۲۹۸	۴۱۲	۲۰۶	۳۰۷	۴۱۸
EAUCF[۱۸]	۱۵۵	۱۹۴	۴۰۶	۱۷۰	۲۱۱	۲۹۲	۱۳۸	۱۹۵	۲۴۲	۱۷۰	۲۲۲	۲۶۹
EAFCA[۱۹]	۲۲۱	۳۴۲	۴۰۲	۲۵۵	۳۷۹	۴۱۲	۲۶۱	۳۸۹	۴۱۸	۲۹۰	۴۰۶	۷۰۴
FLECH[۲۰]	۳۰۰	۳۳۵	۳۴۱	۳۶۵	۳۷۶	۳۸۱	۳۷۶	۳۸۸	۳۹۰	۳۶۲	۳۸۰	۳۸۴
Proposed	۳۹۴	۶۱۹	۶۳۹	۳۷۶	۷۵۰	۷۶۴	۳۶۱	۷۰۹	۷۲۲	۳۵۹	۶۸۷	۷۰۴

جدول ۱۰ : بررسی میزان افزایش طول عمر شبکه در هر سناریو

شماره سناریو	بهترین طول عمر در سایر روش ها	طول عمر الگوریتم پیشنهادی	درصد افزایش طول عمر شبکه
۱	۴۳۹	۷۶۴	۷۴٪
۲	۴۱۸	۷۰۴	۶۸٪
۳	۴۱۶	۷۵۰	۸۰٪
۴	۴۱۷	۶۸۷	۶۵٪

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله با هدف صرفه جویی در مصرف انرژی از طریق کاهش تعداد پیام‌های کنترلی ارسالی و افزایش طول عمر شبکه حسگر بیسیم به ارائه یک الگوریتم مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی با حد آستانه ثابت پرداخته‌ایم. در الگوریتم پیشنهادی از مزایای خوشه-بندی و ارسال چندپرشه، به صورت همزمان استفاده شده است. به منظور بررسی مقیاس‌پذیری از حیث تعداد گره، ابعاد شبکه و موقعیت ایستگاه پایه، الگوریتم پیشنهادی در چهار سناریو مختلف پیاده‌سازی شد. در تمامی سناریوهای بررسی شده، الگوریتم پیشنهادی، به علت عدم خوشه‌بندی در هر دور، در نظر گرفتن حد آستانه ثابت و استفاده از خوشه‌بندهای متفاوت و استفاده از مسیریابی چندپرشه با درنظر گرفتن گره میانی مناسب موجب کاهش تعداد پیام‌های کنترلی ارسالی و بهبود پارامترهای LND و HND، مصرف متوازن انرژی و افزایش طول عمر شبکه شده است. در نظر گرفتن حد آستانه ثابت موجب استفاده از حداکثر توان گره سرخوشه و بهبود عملکرد شبکه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، الگوریتم پیشنهادی بهترین مقدارFND را در اختیار ندارد. بنابراین الگوریتم ارائه شده برای کاربردهایی که پارامترهای HND و LND دارای اهمیت هستند، عملکرد بهتری دارد. کار آتی نویسندگان این مقاله، ارائه یک روش مسیریابی مبتنی بر خوشه-بندی با حد آستانه متغییر است که احتمالا کاهش مصرف انرژی را به همراه خواهد داشت.

مراجع

[1] Tifenn Rault and Abdelmadjid Bouabdallah and Yacine Challal, " Energy efficiency in wireless sensor networks: A top-down survey", Computer Networks, 2014

[2] I.F. Akyildiz and W. Su and Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci "Wireless sensor networks: a survey". Computer Networks, 2002

[3] M. MehdiAfsar and Mohammad-H and Tayarani-N ," Clustering in sensor networks: Al literature survey", Journal of Network and Computer Applications, 2016

[4] Junaid Ahmed Khan and Hassaan Khaliq Qureshi and Adnan Iqbal, "Energy management in Wireless Sensor Networks: A survey", Elsevier, Computers and Electrical Engineering, 2015

[5] Gaurang Raval and Madhuri Bhavsar and Nitin Patel," Enhancing data delivery with density controlled clustering in wireless sensor networks", Microsystem Technologies, 2017

[6] Chirihane Gherbi and Zibouda Aliouat and Mohamed Benmohammed, " A Survey on Clustering Routing Protocols in Wireless Sensor Networks ", Sensor Review, 2017

[7] Naranjo and P.G.V and Shojafar and M., Mostafaei and H. et al. J " P-SEP: a prolong stable election routing algorithm for energy-limited heterogeneous fog-supported wireless sensor networks". Supercomputing, 2017

[8] Nikolaos A. Pantazis, Stefanos A. Nikolidakis and Dimitrios D. Vergados," Energy-Efficient Routing Protocols in Wireless Sensor Networks: A Survey", IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2013

[9] Huang, J. and Hong Y. and Zhao Z. et al, "An energy-efficient multi-hop routing protocol based on grid clustering for wireless sensor networks", Springer,Cluster Computing, 2017

[10] Chirihane Gherbi and Zibouda Aliouat and Mohamed Benmohammed, "An adaptive clustering approach to dynamic load balancing andenergy efficiency in wireless sensor networks", Elsevier Energy, 2016

[11] Wenjing Guo and Wei Zhang," survey on intelligent routing protocols in wireless sensor networks", Journal of Network and Computer Applications, 2013

[12] Ashutosh Kumar Singh and N. Purohit and S. Varma, "Fuzzy logic based clustering in wireless sensor networks: a survey", Taylor & Francis, International Journal of Electronics, 2013

[13] JSR Jang, CT Sun, E Mizutani, "Fuzzy inference systems, chapter 4", 1997

[14] Handy, M. J. and Haase, M. and Timmermann, D. "Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster-head selection", In Mobile and wireless communications network, 2002

[15] O. Younis and S. Fahmy ," a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks", IEEE Transactions on Mobile Computing, 2004

[16] Baranidharan, B. and Santhi, B., " DUCF: Distributed load balancing unequal clustering in wireless sensor networks using fuzzy approach", Applied Soft Computing, 2016

[17] Seyyit Alper and Sert Hakan and Bagci Adnan Yazici, "MOFCA: Multi-Objective Fuzzy Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks", Applied Soft Computing , 2015

[18] Bagci, H. and Yazici, A. "An energy aware fuzzy approach to unequal clustering in wireless sensor networks " Applied Soft Computing, 2013

[19] Akila, I.S. and Venkatesan. "A Cognitive Multi-hop Clustering Approach for Wireless Sensor Networks", R. Wireless Pers Commun, 2016

[20] Baranidharan Balakrishnan and Santhi Balachandran, “FLECH: Fuzzy Logic Based Energy Efficient Clustering Hierarchy for Nonuniform Wireless Sensor Networks”, Hindawi Wireless Communications and Mobile Computing, 2017

زیرنویس‌ها:

۱ قوانین فازی

2 Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

3 Time-division multiple access

4 a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach

5 Distributed load balancing Unequal Clustering

6 Multi-objective fuzzy clustering algorithm

7 Hot spot

8 An Energy Aware Fuzzy Unequal Clustering Algorithm

9 Fuzzy Logic Based Energy Efficient Clustering Hierarchy