مقاله پژوهشی

بهبود انرژی مصرفی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از الگوریتم قورباغه جهنده و منطق فازی

شایسته طباطبائی

چکیده: شبکه‌های حسگر بی‌سیم متشکل از هزاران گره با انرژی باتری محدود هستند و مصرف بهینه انرژی گره‌های حسگر یک چالش اساسی در این نوع از شبکه‌هاست. خوشه‌بندی گره‌های حسگر در دسته‌های مجزا و تبادل اطلاعات از طریق سرخوشه‌ها، یکی از راهکارهای بهبود مصرف انرژی است. این مقاله یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی جدید را به نام SFLCFBA[1] ارائه می‌دهد. پروتکل پیشنهادی به طور بیولوژیکی از ویژگی‌های جستجوی سریع و مؤثر الهام‌گرفته از الگوریتم قورباغه جهنده را که بر اساس رفتار غذایابی قورباغه‌ها عمل می‌کند برای خوشه‌بندی گره‌های حسگر استفاده می‌کند. در پروتکل پیشنهادی همچنین از منطق فازی به منظور محاسبه برازندگی گره‌ها، بر حسب دو معیار فاصله تا سینک و انرژی باقیمانده سطح باتری گره حسگر استفاده می‌شود. روش پیشنهادی در شبیه‌ساز OPNET شبیه‌سازی شد و نتایج حاصل از شبیه‌سازی با پروتکل NODIC و استاندارد IEEE ۸۰۲/۱۵/٤ مقایسه شدند. نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی نشان‌دهنده عملکرد بهتر پروتکل پیشنهادی از نظر انرژی سطح باتری، نسبت سیگنال به نویز، تأخیر انتها به انتها و میزان بسته‌های تحویل‌شده به ایستگاه پایه یا سینک می‌باشد.

کلیدواژه: **شبکه حسگر بی‌سیم، الگوریتم قورباغه جهنده، خوشه‌بندی، منطق فازی، استاندارد IEEE ۸۰۲/۱۵/٤.**

۱- مقدمه

شبکه حسگر بی‌سیم (WSN) به عنوان یک فناوری، مجموعه‌ای از ابزارهای حسگر می‌باشد که با یکدیگر به طور هم‌زمان عمل می‌کنند. یک شبکه حسگر بی‌سیم ممکن است از هزاران گره اتوماتیک و خودسامانده که حسگری محیط، پردازش داده‌ها و شبکه‌بندی بی‌سیم چندگامی موقت را انجام می‌دهد تشکیل شده باشد. شبکه‌های حسگر در برنامه‌های کابردی بالقوه اتوماسیون منزل، سیستم‌های امنیتی و هشدار، بازبینی، کنترل صنعتی، اکتشاف، هدف‌گیری نظامی، کشاورزی و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد. شبکه‌های حسگر بی‌سیم دارای توان محدود هستند و با قیمت ارزان و انرژی کم شناخته می‌شوند [۱]. منابع محدود و ماهیت توزیع‌شده شبکه‌های گیرنده بی‌سیم چالش‌های جدیدی را برای روش‌های مسیریابی در شبکه حسگر به ارمغان آورده که نیاز است به آنها رسیدگی شود. از آنجا که ارتباطات، اغلب در بهره‌برداری برای یک گره حسگر گران می‌باشد، پارادایم ارتباطات داده‌ها در برنامه‌های کاربردی زمینه‌ای باید با مصرف انرژی کارآمد همراه باشد. در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، پروتکل‌های مسیریابی، برنامه‌هایی وابسته می‌باشند که اهداف طراحی آنها در میان برنامه‌های مختلف متغیر است. به عنوان مثال، بسیاری از برنامه‌های کاربردی نیاز به ارتباطات زمان واقعی دارد و مثلاً یک جنگنده ممکن است در به روز رسانی به موقع دما جهت آگاه‌ماندن از شرایط آتش فعلی تکیه داشته باشد، در حالی که یک سیستم مانیتورینگ خاک ممکن است فقط نیاز به گزارش اندازه‌گیری در هر چند ساعت داشته باشد. بنابراین پروتکل‌های مسیریابی باید الزامات تأخیر را در حداقل هزینه‌های انرژی تأمین کنند و از این رو، طراحان پروتکل مسیریابی باید ویژگی‌های گره حسگر را به همراه کاربرد و نیازهای معماری در نظر بگیرند. برای کاهش مصرف انرژی و طولانی‌شدن عمر شبکه، الگوریتم‌های مسیریابی صرفه‌جو در انرژی و جدید و کارآمد باید توسعه یابند. با توجه به این که مصرف انرژی یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های این شبکه‌های حسگر بی‌سیم است، لذا توجه به روش‌های هوشمند برای مسیریابی به منظور مصرف بهینه انرژی در سال‌های اخیر گسترش یافته است. عمومی‌ترین راه حل برای غلبه بر این مشکل، استفاده از روش‌های خوشه‌بندی است. در این راه حل سعی می‌شود حسگرهایی که با هم از نظر مکانی نزدیک‌تر هستند، در یک خوشه قرار داده شوند. سپس از میان حسگرهایی که با هم در یک خوشه قرار دارند، یکی به عنوان مرکز خوشه انتخاب می‌شود و بقیه به جای این که اطلاعاتشان را مستقیماً به مرکز شبکه ارسال نمایند، آنها را به مرکز خوشه ارسال می‌کنند و مرکز خوشه عمل ارسال اطلاعات آنها را به مرکز شبکه انجام می‌دهد. بدیهی است که این رویکرد به طور چشم‌گیری مصرف انرژی را برای حسگرهای بی‌سیم کاهش می‌دهد. اگرچه در سال‌های اخیر طرح‌های خوشه‌بندی مختلفی پیشنهاد شده است، اکثر آنها خوشه‌هایی با مطلوبیت کم را تولید می‌کنند که منجر به مصرف غیر ضروری انرژی و توزیع بار نامتعادل می‌شود [۲]. علاوه بر این، بسیاری از طرح‌های موجود، اکتشافات مسیر غیر بهینه‌ای را انجام می‌دهند که عملیات نقل و انتقال داده را مختل می‌کنند و ممکن است منجر به شکستن مکرر مسیر شود. در طرح‌های ارائه‌شده اخیر برای خوشه‌بندی، معمولاً تعداد زیادی حسگر وجود دارد که باعث بزرگ‌شدن فضای جستجو جهت خوشه‌بندی خواهد شد. با توجه به این که روش‌های عنوان‌شده سعی در جستجوی کامل این فضا دارند، بنابراین استفاده از آنها در خوشه‌بندی شبکه‌های حسگر بی‌سیم زمانبر خواهد بود. از آنجا که حسگرها در محیط مورد نظارت به صورت تصادفی پخش می‌شوند بنابراین احتمال این که شکل خوشه‌هایی با شکل‌های ناهمگون تشکیل شود زیاد است. لذا در صورتی که خوشه‌ها شکل‌های ناهمگونی نسبت به یکدیگر داشته باشند، روش‌های ذکرشده عملکرد خوبی نخواهند داشت. بر این اساس در این تحقیق سعی می‌شود با استفاده از الگوریتم قورباغه

این مقاله در تاریخ ۱۱ اردیبهشت ماه ۱۳۹۹ دریافت و در تاریخ ۲۱ دی ماه ۱۳۹۹ بازنگری شد.

شایسته طباطبائی (نویسنده مسئول)، دانشکده فنی مهندسی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران، (email: shtabatabaey@yahoo.com).

1. Shuffled Frog Leaping Clustering Fuzzy Based Algorithm

جهنده و منطق فازی، گره‌های حسگر موجود در شبکه حسگر را خوشه‌بندی کنیم تا مصرف انرژی را بهبود داده و طول عمر آن را افزایش دهد.

۲- کارهای مرتبط

در [۳] یک پروتکل مسیریابی مطمئن مبتنی بر خوشه‌بندی و سینک سیار در شبکه حسگر بی‌سیم ارائه شد که با استفاده از سینک سیار و خوشه‌بندی طول عمر شبکه را افزایش می‌دهد. همچنین با تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب بهترین سرخوشه جایگزین در زمان رخدادن خطا، به صورت محلی و پویا باعث افزایش قابلیت اطمینان در شبکه می‌شود. پروتکل پیشنهادی که DCRRP نام دارد به صورت توزیع‌شده عمل می‌کند و قادر است تأخیر گزارش داده را به حداقل برساند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی پروتکل پیشنهادی در OPNET با پروتکل NODIC[1] در حالت خطا و بدون خطا مقایسه شده است. به طور کلی مشاهده شد که روش پیشنهادی نویسندگان، رفتار بهتری نسبت به پروتکل NODIC نشان می‌دهد. ایراد این روش این است که پس از تحرک سینک چند گره به عنوان سینک در محل اولیه سینک باقی می‌مانند و گره‌ها بایستی در صورت وجود داده، به گره‌های نماینده سینک سیار اطلاع دهند که خود این مسئله باعث صرف انرژی خواهد شد. در [۴] روشی متمرکز به منظور بهبود بهره‌وری انرژی با خوشه‌بندی مبتنی بر فازی و یادگیری ماشین به نام ECFU[2] برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است. روش پیشنهادی مسئله، بهبود طول عمر شبکه و در عین حال متعادل‌کردن انرژی بین گره‌های حسگر شبکه را حل می‌کند. برای دستیابی به بهره‌وری بیشتر در عملیات شبکه، از تکنیک خوشه‌بندی متکی به به روز رسانی فازی و یادگیری ماشین استفاده شده است. این مقاله یک روش خوشه‌بندی اصلاح‌شده را ارائه نموده که سربار خوشه‌بندی و تبادل پیام را کاهش می‌دهد و از این طریق عمل خوشه‌بندی را به طور مؤثر انجام می‌دهد. شبکه با توجه به انرژی باقیمانده گره‌های حسگر، خوشه‌بندی می‌شود. به منظور افزایش طول عمر شبکه، الگوریتم پیشنهادی چرخه به روز رسانی بعدی را با استفاده از سیستم استنتاج فازی محاسبه می‌کند. معیارهای فازی یعنی انرژی باقیمانده گره، فاصله از سینک و میانگین نرخ داده برای محاسبه چرخه به روز رسانی خوشه در نظر گرفته شده است. گره‌های عضو خوشه یادگیری ماشین را در فواصل منظم اعمال می‌کنند تا داده‌ها را بر اساس شباهت آنها طبقه‌بندی کنند. داده‌های طبقه‌بندی شده پس از کاهش تعداد انتقال پیام به سرخوشه منتقل می‌شوند. روش پیشنهادی باعث بهبود مصرف انرژی خوشه‌بندی و انتقال داده می‌شود. روش پیشنهادی سربار خوشه‌بندی را کاهش می‌دهد که به عنوان یک چالش عمده در اجرای پروتکل‌های خوشه‌بندی شبکه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در [۵] نویسندگان یک مکانیزم زمان‌بندی بهینه و روشی برای ارسال بسته را به طوری که اطلاعات در سرخوشه‌ها جمع‌آوری شود در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه دادند. هدف روش ارائه‌شده بررسی فرایندهای دوره حیات واقعی برای یک فاصله زمانی خاص در مسیریابی بسته‌های داده با حداقل احتمال از دست دادن بسته داده به ایستگاه پایه است. برای رسیدن به این هدف، الگوریتم زمان‌بندی را بهبود دادند تا اسلات‌های زمانی را که از طریق آنها باید داده‌ها توسط گره‌های حسگر ارسال شوند، مرتب کند. روش زمان‌بندی تضمین می‌کند که تمام بسته‌ها در یک اسلات مشخص‌شده ارسال شوند و بنابراین تأخیر کاهش یافته و همچنین برای هر گره یک احتمال بسته‌بندی وجود دارد. در [۶] یک الگوریتم مسیریابی مبتنی بر grid برای شبکه حسگر برای حفظ انرژی در گره‌های حسگر و افزایش طول عمر شبکه پیشنهاد می‌شود. علاوه بر این، مسیریابی از طریق یک هماهنگ‌کننده شبکه انجام می‌شود که قوانین فازی را برای یافتن مسیر بهینه به منظور کاهش تعداد هماهنگ‌کننده‌ها در فرایند مسیریابی اعمال می‌کند. در الگوریتم مسیریابی مبتنی بر grid، گره‌های شبکه با استفاده از منطق فازی، هماهنگ‌کننده grid خود را انتخاب می‌کنند. بنابراین در گره‌های حسگر مصرف انرژی کاهش می‌یابد. از آنجا که انتقال اطلاعات از منبع به سینک توسط هماهنگ کننده grid انجام می‌شود که به عنوان یک گره رله عمل می‌کند، استفاده از هماهنگ کننده باعث کاهش مصرف انرژی در فرآیند مسیریابی می‌شود که منجر به افزایش طول عمر شبکه شده است. در این روش، طراحی به گونه‌ای انجام می‌شود که مشکل مصرف انرژی در اکثر گره‌های حسگر به منظور جلوگیری از اتلاف انرژی در هنگام انتقال به طور مؤثری حل گردد. در [۷] یک روش جدید برای خوشه‌بندی بهینه در شبکه‌های مدور[3] (OCCN)[4] پیشنهاد شده که هدف آن کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم است. در این روش که برای یک ناحیه مدور اطراف یک سینک ارائه می‌شود، یک ارتباط تک‌گامه بین سرخوشه‌ای و سینک با یک ارتباطات چندگامه بهینه جایگزین می‌گردد. علاوه بر این، تعداد بهینه خوشه‌ها محاسبه می‌شود و مصرف انرژی با تقسیم شبکه به نزدیک به همان اندازه به صورت توزیعی بهینه می‌شود. در این مقاله، یک پروتکل ارتباطی چندگامه ارائه شده که از پارامترهای بهینه بهره می‌برد. پارامترهای بهینه از جمله بهینه‌سازی ارتباطات یک‌گامه، تعداد بهینه اندازه خوشه و تعداد بهینه خوشه‌ها برای یک شبکه مدور در نظر گرفته شده که در آن، سینک در مرکز شبکه قرار دارد. در طی عمل خوشه‌بندی، انتخاب سرخوشه روش پیشنهادی طول عمر شبکه را به میزان قابل توجهی بهبود می‌بخشد و روند مصرف انرژی به صورت خطی است و حداقل تا ۵۰٪ از گره‌ها زنده می‌مانند. در [۸]، نویسندگان روش خوشه‌بندی گره‌های حسگر به عنوان تکنیکی برای افزایش طول عمر شبکه حسگر بی‌سیم مورد توجه قرار می‌گیرد و به منظور بهبود مصرف انرژی با استفاده از الگوریتم گله شیرها و منطق فازی گره‌های حسگر را به دسته‌هایی به نام خوشه تقسیم می‌کند. الگوریتم گله شیرها با استفاده از دو معیار انرژی سطح باتری و فاصله تا سینک بهترین گره‌ها را به عنوان سرخوشه انتخاب می‌کند، سپس باقی گره‌ها که خود سرخوشه نیستند بر حسب فاصله به نزدیک‌ترین سرخوشه وصل شده و بدین ترتیب خوشه‌ها تشکیل می‌شود. پس از تشکیل خوشه‌ها برای تسهیل در مسیریابی داده از یک Backbone مجازی مستقیم (DVB) که از سرخوشه‌ها ساخته شده است استفاده می‌گردد که به سمت سینک ریشه دارد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی پروتکل پیشنهادی در OPNET، با روش منطق فازی و پروتکل استاندارد IEEE ۸۰۲/۱۵/۴ مقایسه شده است. به طور کلی مشاهده شد که پروتکل پیشنهادی، رفتار بهتری نسبت به پروتکل استاندارد IEEE ۸۰۲/۱۵/۴ دارد و از نظر نرخ گذردهی نیز رفتار بهتری نسبت به منطق فازی دارد. به منظور کاهش مصرف انرژی در شبکه حسگر بی‌سیم در [۹] یک روش خوشه‌بندی با استفاده از الگوریتم

1. Novel Distributed Clustering
2. Energy Based Clustering with Fuzzified Updates
3. Circular
4. Optimal Clustering in Circular Networks

تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS[1] برای شبکه حسگر بی‌سیم ارائه شده که قادر به خوشه‌بندی گره‌های شبکه بر اساس سطح انرژی گره‌ها می‌باشد. این پروتکل با استفاده از تعداد مشخصی از گره‌های پرانرژی در شبکه و اعمال آنها به عنوان سرخوشه، نقشه خودسازماندهی، نزدیک‌ترین گره‌های کم‌انرژی را جذب گره‌های پرانرژی می‌کند؛ به طوری که خوشه‌ها لزوماً از گره‌های مجاور تشکیل نشده و در واقع بر اساس پارامتر سطح انرژی و همسایگی، فاصله تا سینک[2] و حجم کار انجام‌یافته، خوشه‌هایی با انرژی متوازن تشکیل خواهند شد. نتایج شبیه‌سازی با OPNET نشان می‌دهد که طرح پیشنهادی دارای عملکرد بهتری نسبت به پروتکل شناخته‌شده مانند IEEE ۸۰۲/۱۵/۴ از نظر مصرف انرژی و طول عمر شبکه برای شبکه‌های حسگر می‌باشد. از امتیازات مهم این روش آن است که به طور هم‌زمان می‌تواند از شاخص‌ها و معیارهای عینی و ذهنی استفاده نموده و خروجی آن می‌تواند ترتیب اولویت گزینه‌ها را مشخص و این اولویت را به صورت کمی بیان کند. در این روش تضاد و تطابق بین شاخص‌ها در نظر گرفته می‌شود و روش کار، ساده و سرعت آن مناسب است و نتایج نیز این مدل کاملاً منطبق با روش‌های تجربی است. ایراد این روش حجم پردازشی بسیار بالا و محاسبات پیچیده ریاضی است. در [۱۰] یک الگوریتم مسیریابی بین لایه‌ای برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم به منظور بهبود مصرف انرژی پیشنهاد شده که با استفاده از مدل شبکه، خوشه‌هایی با بار متوازن را ایجاد می‌کند و همچنین با استفاده از مدل انرژی رادیو روی محاسبه میزان انرژی مصرف‌شده در هنگام ارسال اطلاعات، دریافت و تجمیع داده تمرکز کرده است. از مزایای این روش این است که گره‌ها داده افزونه را ادغام می‌نمایند تا بتوانند انرژی بیشتری را حفظ کنند. همچنین در نظر گرفته شده که فاصله نسبی از طریق قدرت سیگنال تخمین زده می‌شود و نیاز نیست شبکه مجهز به GPS باشد. از معایب روش پیشنهادی این است که اولاً ارتباطات بین خوشه‌ای را تحت بررسی قرار نداده و همچنین نحوه ارسال داده از سرخوشه به سینک در مقاله مطرح نشده است.

در [۱۱] یک روش آگاه از انرژی پوشش شبکه با حداقل درخت پوشا به نام CEMST[3] برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم مبتنی بر خوشه‌بندی چندگامی که چگالی گره‌های حسگر و همپوشانی محدوده پوشش‌دهی آنها را در نظر می‌گیرد پیشنهاد شده است. CEMST از سه مرحله تشکیل خوشه، ساخت مسیر و بازسازی تشکیل شده است. در مرحله تشکیل خوشه سرخوشه‌ها و اعضای آنها را از نظر انرژی باقیمانده و میزان همپوشانی بین اعضا تعیین می‌کند. همچنین اندازه خوشه را متناسب با انرژی باقیمانده، تراکم گره و فاصله متوسط تا گره سینک تعیین می‌کند. در مرحله ساخت مسیر، مسیرهای درون خوشه‌ای ساخته می‌شوند. در مرحله بازسازی، زمانی که باتری گره تمام می‌شود یا پیوندهای درون خوشه‌ای به دلیل از بین رفتن حسگر قطع می‌شوند، اجرا می‌شود. برای صرفه‌جویی در انرژی، گره‌های قطع‌شده را دوباره متصل می‌کند و سرخوشه‌های جایگزین را بدون اجرای مجدد الگوریتم خوشه‌بندی تعیین می‌کند. CEMST ساختارهای خوشه‌ای مناسب‌تر و مسیرهای با مصرف انرژی مناسب‌تر را ایجاد می‌کند و بنابراین طول عمر شبکه افزایش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که CEMST ساختارهای خوشه‌بندی مناسبی را تولید می‌کند و پوشش‌دهی بهتر و طول عمر شبکه را به نسبت روش‌های پیشین افزایش می‌دهد. در [۱۲] یک پروتکل مسیریابی به نام APTEEN[4] با ادغام دو الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه‌سازی مگس میوه، برای حل مشکلاتی همچون مصرف نابرابر انرژی شبکه، مرگ زودرس برخی از گره‌ها، مصرف بیش از حد انرژی غیر ضروری و پوشش ناکارآمد کل شبکه حسگر پیشنهاد شد. این پروتکل با استفاده از معیارهایی نظیر انرژی باقیمانده، فاصله گره تا ایستگاه پایه، فاصله گره تا مرکز هندسی کل شبکه، درجه گره از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه‌سازی مگس میوه برای انتخاب سرخوشه برای اولین بار و از الگوریتم تطبیقی تراکم برای انتخاب بار دوم سرخوشه استفاده می‌کند. برخی از گره‌ها با توجه به موقعیت و درجه‌شان برای صرفه‌جویی در انرژی باتری به خواب برده می‌شوند. معیارهای انرژی باقیمانده سرخوشه، فاصله گره تا سرخوشه و تعداد اعضای خوشه هنگام اتصال گره‌ها به خوشه‌ها در نظر گرفته می‌شوند. برای یافتن مسیر بهینه روش پیشنهادی از الگوریتم دایجسترا استفاده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی این مقاله می‌تواند ضمن اطمینان از کیفیت سرویس، طول عمر شبکه و پوشش سیستم را افزایش دهد، مصرف انرژی را در خوشه و بین خوشه‌ها متعادل کند و از مشکل حفره انرژی جلوگیری نماید و فاصله انتقال و دریافت داده، مصرف انرژی و حجم داده‌های زاید را کاهش دهد.

در [۱۳] برای دستیابی به ارتباط مطمئن در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، یک پروتکل مسیریابی چندسینکی چندکاناله بین لایه‌ای آگاه از کیفیت سرویس پیشنهاد داده شده است. زمانی که رویدادی در منطقه نظارت رخ می‌دهد، پروتکل پیشنهادی مسیرهای آگاه از QoS را بین گره‌های مبدأ و مقصد تعیین می‌کند. سپس داده‌ها به نزدیک‌ترین سینک که بر اساس معیار مبتنی بر QoS تصمیم‌گیری می‌شود، فرستاده می‌شوند. پروتکل پیشنهادی به هر منبع این امکان را می‌دهد تا ارتباطات بین سینک‌های موجود را به صورت پویا تغییر داده و متعاقباً تعادل بار را در مرحله ارتباط برقرار کند. علاوه بر این، بهترین کانال‌ها را به گره‌های مربوط در مسیر برای تعادل بار احتمالی بین فرکانس‌های موجود اختصاص می‌دهد و کانال‌های بی‌سیم پیوندهای موجود در مسیر را برای ایجاد امکان ارتباطات قابل اطمینان به روز رسانی می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که پروتکل پیشنهادی از نظر طول عمر شبکه، قابلیت اطمینان، تأخیر انتها به انتها و توان عملیاتی بهتر عمل نموده و برای برنامه‌های واقعی و ارتباطات مبتنی بر جریان داده با سرعت بالا در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مناسب است.

۳- روش پیشنهادی

با توجه به انرژی محدود باتری در گره‌های حسگر، نیاز به پروتکل‌های کارا از نظر مصرف انرژی است. بر این اساس سعی شده در این تحقیق از الگوریتم قورباغه جهنده و منطق فازی برای ارائه یک الگوریتم کارا جهت خوشه‌بندی حسگرهای شبکه‌های بی‌سیم استفاده شود تا مصرف انرژی را بهبود بخشد. در این بخش به توضیح روش پیشنهادی برای بهبود مصرف انرژی در شبکه حسگر می‌پردازیم.

الگوریتم پیشنهادی به صورت متمرکز اجرا می‌شود. با توجه به این که استفاده از الگوریتم‌های متمرکز در کاربردهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم کمک می‌کند تا بتوان الگوریتم‌های بهینه را در شبکه استفاده کرد لذا در

1. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
2. Sink
3. Coverage- and Energy-Aware Method with Minimum Spanning Trees
4. Adaptive Threshold-Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol

جدول ۱: نمونه‌ای از یک راه حل در روش پیشنهادی.

Frog ۱	۲۳	۴	۵	۳۴	۴۵

جدول ۲: نمونه‌ای از جمعیت اولیه در روش پیشنهادی.

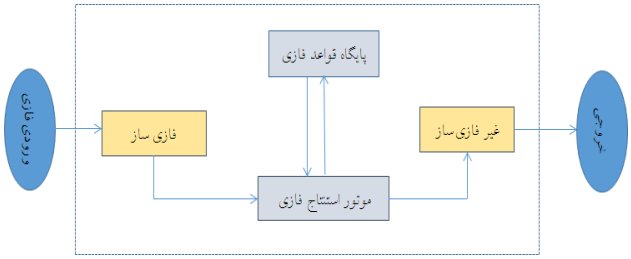
Frog ۱	۲۳	۴	۵	۳۴	۴۵
Frog ۲	۲۲	۱۰	۴	۳	۱
Frog ۳	۴۰	۱۰	۵	۶	۹
Frog ۴	۴۵	۴۹	۴	۲۲	۱
Frog ۵	۲۴	۱۱	۶	۶	۲
Frog ۶	۴۵	۱۰	۳	۲۲	۳۴
Frog ۷	۲۹	۳۶	۳	۱۰	۴
Frog ۸	۴۵	۳	۹	۱۰	۵
Frog ۹	۲۹	۳۶	۴	۱۰	۱
Frog ۱۰	۵	۷	۸	۹	۱۲
Frog ۱۱	۲۹	۳۶	۱	۳۴	۲
Frog ۱۲	۲	۳	۴	۱	۱۰

این تحقیق فرض بر این است که عملیات تعیین سرخوشه‌ها در ایستگاه پایه انجام می‌گیرد. پس از تشکیل خوشه‌ها، گره‌ها سرخوشه‌های خود را می‌شناسند و داده خود را طبق برنامه زمان‌بندی TDMA[1] که سرخوشه‌ها آن را تعیین و برای گره‌ها ارسال کرده‌اند، به سرخوشه مربوط ارسال می‌کنند. در ادامه به بیان جزئیات الگوریتم پیشنهادی می‌پردازیم. الگوریتم قورباغه جهنده اولین بار توسط ایساف لانسی در سال ۲۰۰۳ بیان شد و هدف اصلی از بیان الگوریتم مزبور به دست آوردن روش جستجویی بود که در حل مسایل پیچیده بهینه‌سازی بدون استفاده از روابط ریاضی کمک می‌کند. می‌توان گفت که الگوریتم قورباغه جهنده ترکیبی از دو روش جستجوی فرامکاشفه‌ای بهینه‌سازی ازدحام ذرات و الگوریتم ممتیک[2] به وجود آمده است.

در واقع می‌توان گفت که الگوریتم قورباغه از ترکیب مزیت‌های این دو الگوریتم به وجود آمده است. از ویژگی‌های مهم الگوریتم قورباغه جهنده می‌توان به مفهوم ساده تنظیم پارامتری کمتر شکل‌گیری سریع قابلیت بالا در جستجوی سراسری و پیاده‌سازی آسان آن اشاره نمود. این الگوریتم از زندگی گروهی قورباغه‌ها زمانی که به دنبال غذا می‌گردند، الهام گرفته شده است. در روش مفروض هر قورباغه بیانگر جوابی از مسأله می‌باشد. در این روش جمعیت اولیه را به چند گروه مجزا (memplex) تقسیم می‌کنند که تعداد قورباغه موجود در همه گروه‌ها با هم برابر است. بر اساس این تقسیم‌بندی دو نوع روش وجود دارد: روش اول که یک جستجوی محلی است و بر اساس آن قورباغه‌ها در هر گروه با تبادل اطلاعات، موقعیت خود را نسبت به غذا (بهترین جواب) بهبود می‌دهند و روش دوم مربوط به تبادل اطلاعات بین گروه‌ها است که بر اساس آن بعد از هر جستجوی محلی در گروه‌ها، اطلاعات به دست آمده بین گروه‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شوند. در الگوریتم قورباغه جهنده تعدادی قورباغه با ساختار یکسان اما با قابلیت انطباق مختلف وجود دارد و هر قورباغه نماینده یک راه حل ممکن برای یک مسئله بهینه‌سازی است. کل جمعیت قورباغه‌ها بر اساس اصول خاصی به تعدادی memplex

1. Time Division Multiple Access

۲. الگوریتم بهینه‌سازی حافظه که در آن میزان شایستگی یک فرد در یک نسل با رفتاری موسوم به تقلید ارتقا می‌یابد.



شکل ۱: بلوک دیاگرام سیستم نظارتی فازی.

تقسیم می‌شوند و هر memplex نوعی از مم‌ها[3] را نشان می‌دهد. قورباغه‌های موجود در memplex بر اساس استراتژی‌های خاصی که انتقال مم را میان قورباغه‌های محلی ممکن می‌سازند، فضای پاسخ را به صورت محلی جستجو می‌کنند. مراحل روش پیشنهادی به شکل زیر است:

مرحله ۱: ابتدا سینک یک پیغام درخواست RREQ را برای تمام گره‌های حسگر ارسال می‌کند که در داخل این پیغام موقعیت فیزیکی سینک درج شده است. هر گره حسگر که این پیغام را دریافت کرد فاصله خود را تا سینک محاسبه کرده و مقدار انرژی باقیمانده و ID خود را در پاسخ به درخواست سینک در قالب بسته ACK به سینک می‌فرستد. سینک پس از دریافت این اطلاعات، آنها را در داخل جدول خود ثبت می‌کند. سپس به صورت متمرکز فرایند انتخاب بهترین گره‌ها به عنوان سرخوشه داخل سینک با استفاده از الگوریتم قورباغه بدین صورت اجرا می‌شود: جمعیتی اولیه از قورباغه‌ها را ایجاد می‌کنیم و هر راه حل را یک قورباغه در نظر می‌گیریم و ۱۲ راه حل تصادفی تولید می‌کنیم. با توجه به این که تعداد خوشه‌هایی که می‌خواهیم تشکیل دهیم به ازای ۶۰ گره حسگر، ۵ تا است، لذا هر راه حل را آرایه‌ای پنج‌تایی در نظر می‌گیریم که عناصر آرایه همان IP گره‌های حسگر است. جدول ۱ نمونه‌ای از یک قورباغه یا راه حل را نشان می‌دهد که گره‌های حسگر با IPهای ۲۳، ۴، ۵، ۳۴ و ۴۵ را به طور تصادفی به عنوان سرخوشه انتخاب نموده است.

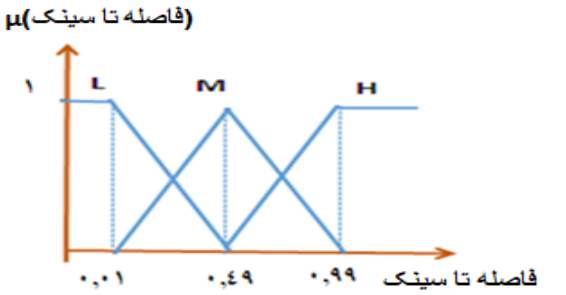
جمعیت اولیه را که حاوی ۱۲ قورباغه یا جواب است به طور تصادفی ایجاد می‌کنیم. هر قورباغه یک جواب است، یعنی هر قورباغه نشان‌دهنده IP گره‌های حسگری است که به عنوان سرخوشه انتخاب نموده‌ایم. پس $n\ \text{Frog} = ۱۲$ در نظر گرفته شده و همچنین تعداد memplexها را نیز ۳ تا در نظر می‌گیریم. جدول ۲ نمونه‌ای از جمعیت اولیه را نشان می‌دهد که به طور تصادفی ایجاد شده است.

مرحله ۲: برای تعیین مقدار برازندگی حسگر از منطق فازی استفاده می‌شود که در ادامه به توضیح آن می‌پردازیم.

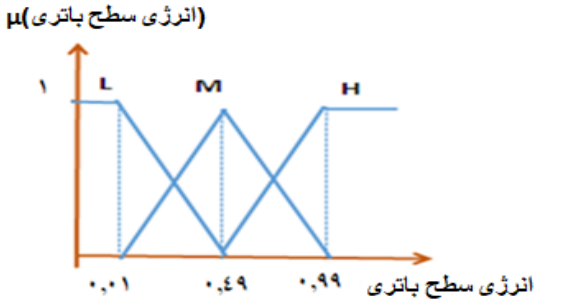
برای محاسبه برازندگی از دو معیار میزان انرژی باقیمانده گره و فاصله تا سینک استفاده می‌شود که به عنوان ورودی فازی به سیستم فازی داده می‌شود. مکانیزم منطق فازی که در این تحقیق برای تعیین میزان برازندگی گره در شبکه حسگر پیشنهاد داده شده، به صورت یک کنترل‌کننده بر اساس منطق فازی است. این مکانیزم کنترل به صورت یک کنترل فازی تطبیقی در نظر گرفته شده که در شکل ۱ نشان داده شده است.

همان طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود سه مرحله اصلی برای اعمال کنترل فازی به سیستم فوق وجود دارد که در ادامه به تشریح این سه مرحله می‌پردازیم.

۳. مم یک عنصر فرهنگی یا رفتاری است که به وسیله عوامل غیر ژنی از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شود.



شکل ۲: توابع عضویت برای متغیر ورودی چگالی بار.



شکل ۳: توابع عضویت برای متغیرهای ورودی انرژی سطح باتری.

- فازی‌سازی[1]

در این مرحله مجموعه‌های فازی برای متغیرهای ورودی و خروجی فازی تعریف می‌شوند. به تبدیل ورودی‌های حقیقی به مجموعه‌های فازی مناسب برای اعمال به موتور استنتاج، فازی‌سازی می‌گویند و به عبارت دیگر، فازی‌ساز رابطی بین ورودی‌های حقیقی و موتور استنتاج است.

در روش پیشنهادی، ورودی سیستم فازی دو پارامتر در نظر گرفته شده که فاصله تا سینک و انرژی سطح باتری گره است.

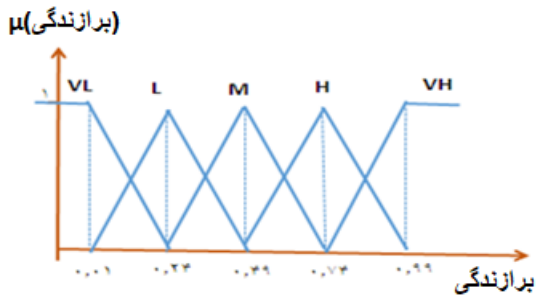
برای هر یک از متغیرهای ورودی سه مجموعه فازی تعریف می‌کنیم (از H برای حد بالا، M برای حد متوسط و L برای نشان‌دادن حد پایین) که در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. دلیل استفاده از توابع تعلق ذوزنقه‌ای دقیق‌بودن آن می‌باشد. برای خروجی یعنی میزان برازندگی گره، ۵ مجموعه فازی دارای توابع تعلق مثلثی (از VH برای حد خیلی بالا، H برای حد بالا، M برای حد متوسط، L برای نشان‌دادن حد پایین و VL برای حد خیلی پایین) استفاده گردیده که در شکل ۴ نشان داده شده است.

- موتور استنتاج[2] فازی

در مرحله استنتاج با استفاده از قواعد فازی[3]، مقدار برازندگی گره را با توجه به مقدار پارامترهای در نظر گرفته شده یعنی فاصله تا سینک و انرژی سطح باتری گره محاسبه می‌کنیم. هر قاعده فازی شامل دو قسمت است: یک قسمت مقدمه به صورت "اگر فاصله تا سینک کم و انرژی سطح باتری گره بالا است" و یک قسمت نتیجه به صورت "آن گاه میزان برازندگی تخصیص‌یافته به گره خیلی بالا است". در روش پیشنهادی موتور استنتاج فازی را مینیمم ممدانی در نظر گرفته‌ایم.

برای هر یک از ۲ پارامتر ورودی، ۳ مجموعه فازی تعریف کرده‌ایم که ۹ قاعده فازی حاصل می‌شود و این ۹ قاعده، در جدول ۳ تعریف شده‌اند.

1. Fuzzification
2. Inference
3. Fuzzy Rule



شکل ۴: توابع عضویت برای متغیر خروجی برازندگی.

جدول ۳: پایگاه قواعد فازی.

ردیف	ورودی		خروجی
	فاصله تا سینک	انرژی سطح باتری	برازندگی گره
۱	Low	Low	Medium
۲	Low	Medium	Low
۳	Low	High	Very High
۴	Medium	Low	Low
۵	Medium	Medium	Medium
۶	Medium	High	High
۷	High	Low	Very Low
۸	High	Medium	Low
۹	High	High	Medium

- مرحله غیر فازی‌سازی

این مرحله برای ترجمه خروجی فازی به مقدار عددی از غیر فازساز کننده استفاده می‌شود. در روش پیشنهادی از غیر فازی‌ساز میانگین مراکز استفاده شده که با استفاده از (۱) محاسبه می‌شود

$$Fitness = \frac{\sum_{l=1}^{m} y^{-l} \prod_{i=1}^{n} \mu A_i^l(X_i)}{\sum_{l=1}^{m} \prod_{i=1}^{n} \mu A_i^l(X_i)} \qquad (۱)$$

که پارامترهای این فرمول عبارت از i اندیس مسیر، m تعداد قواعد فازی (در اینجا ۹ می‌باشد)، n تعداد توابع عضویت متغیرهای ورودی (در اینجا برابر ۲ می‌باشد)، $\mu A_i^l(X_i)$ مقدار فازی توابع عضویت و y^{-l} نیز مراکز خروجی می‌باشد. دلیل استفاده از تابع برازش بیان‌شده در (۱) زمان پردازش کم، کارایی، دقت محاسباتی و قابلیت اطمینان بالا برای داده‌های ورودی با نرخ خطای بالا می‌باشد و همچنین به دلیل ساختار پیوسته تابع خروجی عملکرد کافی دارد.

با توجه به مقدار برازندگی قورباغه‌ای جواب مسئله است که میزان انرژی باقیمانده بیشتر و فاصله کمتری تا سینک داشته باشد. مقدار تابع برازندگی برای جواب‌های پیشنهادی در جدول ۴ نمایش داده شده است. این جدول نشان می‌دهد که قورباغه اول، مقدار برازندگی برابر ۸/۳ دارد که بدین معنی است که برازندگی گره‌های موجود در جواب اول یا قورباغه اول برای سرخوشه‌شدن ۸/۳ است.

حال قورباغه‌ها را بر اساس برازندگیشان مرتب می‌کنیم به طوری که بیشترین برازندگی در بالا و بدترین برازندگی در پایین باشد. لذا نتایج این مرتب‌سازی در جدول ۵ نمایش داده شده است.

مرحله ۳: جواب‌ها را بر حسب تابع برازندگی به صورت نزولی مرتب می‌کنیم که نتیجه مرتب‌سازی نزولی قورباغه‌ها در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۴: میزان برازندگی جواب‌ها.

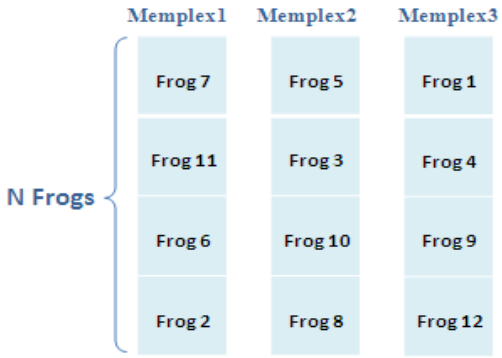
Frog ۱	۸٫۳
Frog ۲	۶٫۴۵
Frog ۳	۷٫۵
Frog ۴	۷٫۴
Frog ۵	۹٫۳
Frog ۶	۷٫۲
Frog ۷	۹٫۹
Frog ۸	۴٫۵
Frog ۹	۶٫۷
Frog ۱۰	۶٫۷
Frog ۱۱	۸٫۳
Frog ۱۲	۱٫۵

جدول ۵: نتیجه مرتب‌سازی نزولی قورباغه‌ها بر حسب تابع برازندگی.

بیشترین برازندگی ← Frog ۷	۲۹	۳۶	۳	۱۰	۴	۹٫۹
Frog ۵	۲۴	۱۱	۶	۶	۲	۹٫۳
Frog ۱	۲۳	۴	۵	۳۴	۴۵	۸٫۳
Frog ۱۱	۲۹	۳۶	۱	۳۴	۲	۸٫۳
Frog ۳	۴۰	۱۰	۵	۶	۹	۷٫۵
Frog ۴	۴۵	۴۹	۴	۲۲	۱	۷٫۴
Frog ۶	۴۵	۱۰	۳	۲۲	۳۴	۷٫۲
Frog ۱۰	۵	۷	۸	۹	۱۲	۶٫۷
Frog ۹	۲۹	۳۶	۴	۱۰	۲۹	۶٫۷
Frog ۲	۲۲	۱۰	۴	۳	۲۲	۶٫۴۵
Frog ۸	۴۵	۳	۹	۱۰	۴۵	۴٫۵
کمترین برازندگی ← Frog ۱۲	۲	۳	۴	۱	۱۰	۱٫۵

مرحله ٤: جمعیت را بر حسب برازندگی به سه memplex یا گروه تقسیم می‌کنیم. با توجه به این که ۱۲ جواب در جمعیت اولیه داشتیم، به هر دسته از memplexها چهار قورباغه یا جواب را نسبت می‌دهیم. حال جمعیت را به $m=۳$ گروه که در هر گروه $n=۴$ قورباغه وجود دارد تقسیم می‌کنیم که m نشان‌دهنده تعداد memplex یا گروه‌ها و n نشان‌دهنده جمعیت قورباغه‌ها در هر گروه می‌باشد. قورباغه‌ها را بر اساس برازندگیشان در گروه‌ها قرار می‌دهیم به طوری که بهترین جواب در سطر اول گروه اول، جواب دوم در سطر اول گروه دوم و الی آخر قرار گیرند. در شکل ۵ نمونه‌ای از نحوه اختصاص جواب‌ها به گروه‌ها نشان داده شده است.

مرحله ٥: جستجوی محلی در هر memplex را انجام می‌شود. اگر x_w برازندگی بدترین قورباغه و x_b برازندگی بهترین قورباغه در آن memplex باشد، بایستی بدترین قورباغه در هر گروه را به سمت بهترین قورباغه در آن گروه جهش دهد و برای انجام جهش، یک عدد تصادفی تولید می‌شود. برای مثال فرض کنید فرض کنیم $d=۰,۳$ باشد، به عنوان مثال از خانه ۳ به بعد انتخاب می‌شود و عمل جهش از خانه ۴ به بعد انجام می‌شود یعنی بدترین قورباغه در هر گروه را به سمت بهترین قورباغه در آن گروه جهش می‌دهد و جواب جدید را محاسبه می‌کند. حال اگر برازندگی جواب جدید از برازندگی قبلی بهتر بود، این مقدار جایگزین می‌شود و در غیر این صورت از بهینه سراسری X_G استفاده می‌شود (یعنی همان فرایند قبل این بار به جای استفاده از x_b از X_G استفاده می‌شود). اگر برازندگی از مقدار قبل بهتر شده مقدار جایگزین می‌شود و



شکل ۵: نمونه‌ای از نحوه اختصاص جواب‌ها به گروه‌ها.

جدول ۶: انجام عمل جهش را در MEMPLEX۱.

نقطه جهش					
Frog ۷ بهترین قورباغه در memplex۱	۲۹	۳۶	۳	۱۰	۴
Frog ۲ بدترین قورباغه در memplex۱	۲۲	۱۰	۴	۳	۲۲
قورباغه جدید	۲۲	۱۰	۴	۱۰	۴

در غیر این صورت یک قورباغه کاملاً تصادفی تولید می‌کنیم. جدول ۶ انجام عمل جهش را در memplex۱ نمایش می‌دهد. با توجه به این جدول، بدترین قورباغه در memplex۱ که برازندگی‌اش از همه اعضا memplex۱ کمتر است، frog۷ و بهترین عضو memplex۱، frog۲ است. بعد از ایجاد جواب جدید برازندگی، جواب جدید مجدداً طبق (۱) محاسبه می‌شود. اگر برازندگی قورباغه جدید ایجادشده در جدول ۶ بزرگ‌تر از برازندگی بدترین قورباغه در memplex۱ باشد، قورباغه جدید جایگزین بدترین قورباغه memplex۱ می‌شود و در غیر این صورت همین مراحل را با بهترین قورباغه سراسری که بزرگ‌ترین برازندگی را بین تمام قورباغه‌های عضو memplexها دارد انجام می‌دهیم. در صورت تولید قورباغه جدید با برازندگی بالا نسبت به قورباغه بدتر عضو آن memplex، قورباغه جدید تولیدشده جایگزین بدترین قورباغه خواهد شد و در غیر این صورت یک جواب کاملاً تصادفی، جایگزین بدترین قورباغه خواهد شد و این روند برای تمامی memplexها اجرا خواهد گردید.

مرحله ٦: در روش پیشنهادی برای این که اطلاعات به صورت سراسری مبادله شود، تمام قورباغه‌ها ترکیب می‌شوند. جمعیت جدید جواب‌ها مجدداً به ترتیب نزولی مرتب شده و این محاسبات به تعداد ۱۰۰ بار تکرار می‌گردد. جستجوی محلی و فرایند ترکیب تا زمانی که به دور صدم نرسیده تکرار می‌شود. پس از دور صدم دوباره قورباغه‌ها را مرتب کرده و قورباغه‌ای که بالاترین برازندگی را دارد و حاوی ID گره‌ها با بالاترین برازندگی است به عنوان سرخوشه‌ها انتخاب می‌شود. پس از صد بار تکرار به عنوان مثال، جواب‌ها به صورت جدول ۷ تغییر پیدا می‌کند که گره‌ها با id ۳، ۴۵، ۸، ۱۰ و ۲۶ به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند. در جواب‌های دور صدم، اعضای آرایه قورباغه با بالاترین جدید را ایجاد می‌کنند و سپس برازندگی قورباغه جدید یا همان جواب برازندگی به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. سینک با توجه به id گره‌های داخل آرایه بهترین جواب، یک پیغام chselect را می‌فرستد و به آنها اعلام می‌کند که سرخوشه هستند. سپس هر سرخوشه یک پیغام Advertisement را که حاوی اطلاعات موقعیت فیزیکی و IDاش می‌باشد تولید و در رنج خود پخش می‌کند. گره‌هایی که این پیغام را دریافت می‌کنند در صورتی که خود سرخوشه نباشند، فاصله خود را تا سرخوشه حساب کرده و با توجه به

```
Start;
Randomly generate a population of (P) of solution (frogs);
For i=1 to number of iteration;
For each individual iϵP: calculate fitness with Fuzzy logic (i);
Sort the population P in descending order of their fitness;
Devided P into m memplex;
Determine the best and worst frogs;
Repeat
Improve the worst frog position;
Until a specific number of iterations is satisfied:
End for;
End for;
Shuffled the memplexes;
Sort the population n in descending order of their fitness;
Check if completion=true
End
```

شکل ۶: شبه‌کد الگوریتم پیشنهادی.

جدول ۷: جواب‌های دور صدم در الگوریتم پیشنهادی.

بهترین جواب ←	۱۰	۸	۴۵	۳	۲۶	Solution
	۴۱	۶	۳	۴	۱	Solution
	۳۳	۴۰	۲	۱۰	۲	Solution
	۵	۴	۲۹	۴۰	۳۵	Solution
	۴	۳	۲۴	۲	۱۰	Solution
	۲۵	۳۲	۲۳	۴۰	۳	Solution
سایر جواب‌ها	۲۶	۱۰	۲۹	۸	۶	Solution
	۳۱	۶	۴۰	۳	۸	Solution
	۲۱	۳	۳۴	۵	۴	Solution
	۶	۱۰	۲	۲۹	۴۰	Solution
	۲۲	۳	۶	۲۴	۱۰	Solution
	۱۰	۵	۴	۲۳	۲	Solution

فاصله‌شان به نزدیک‌ترین سرخوشه، با ارسال پیغام Join که این پیغام حاوی ID گره عضو و مقدار انرژی باقیمانده و موقعیت فیزیکی گره عضو است، به نزدیک‌ترین سرخوشه متصل می‌شوند و بدین ترتیب خوشه‌ها شکل می‌گیرند.

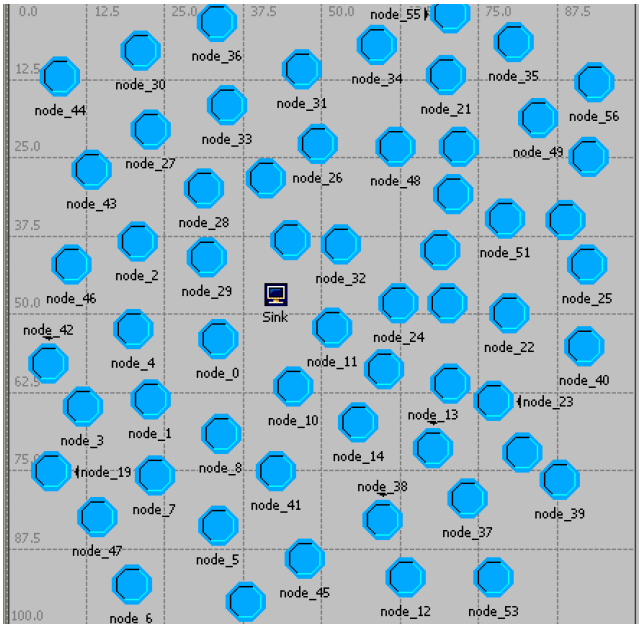
شبه‌کد الگوریتم پیشنهادی در شکل ۶ نمایش داده شده است.

٤- شبیه‌سازی روش پیشنهادی

٤-١ محیط شبیه‌سازی

در این مقاله برای شبیه‌سازی روش پیشنهادی و مقایسه آن با پروتکل NODIC از نرم‌افزار شبیه‌سازی OPNET نسخه ۱۱.۵ استفاده شده که این شبیه‌ساز یک مدل سلسله‌مراتبی سه‌لایه‌ای شامل Network، Node و Process دارد و می‌توان با استفاده از آن توپولوژی شبکه حسگر بی‌سیم را به صورت گرافیکی مدل نموده و پارامترهای مختلف شبکه را در شبیه‌سازی تغییر داد و نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها را مورد مقایسه قرار داد. پیکربندی پارامترهای شبیه‌سازی در جدول ۸ نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۷ در روش پیشنهادی، همبندی شبکه را ۶۰ گره در نظر گرفته‌ایم که سه سناریو، که سناریوی اول گره‌های حسگر به صورت تصادفی بر اساس پروتکل IEEE ۸۰۲/۱۵/۴ با یک بعد و با محدوده ۳۶۰ درجه که در شبکه‌های حسگر بی‌سیم که یک پروتکل استاندارد با نرخ داده کم و انرژی مصرفی کم و هزینه ساخت پایین و کاملاً انعطاف‌پذیر



شکل ۷: توپولوژی شبکه با تعداد ۶۰ گره حسگر.

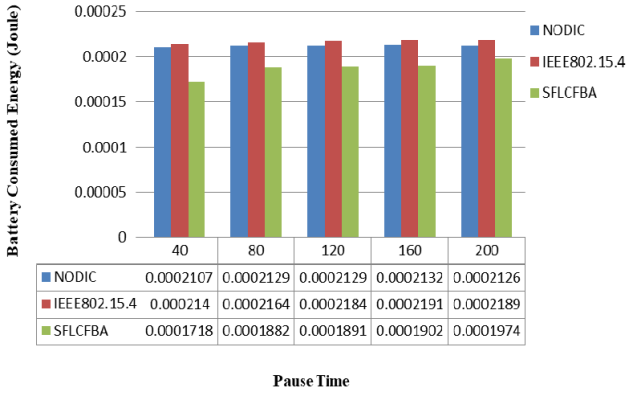
جدول ۸: پیکربندی پارامترهای شبیه‌سازی برای هر سه سناریو.

پارامتر	مقدار
روش پخش گره‌ها در محیط	تصادفی
اندازه محیط شبیه‌سازی	۱۰۰m×۱۰۰m
نوع ارسال	CBR
اندازه بسته	۱۰۲۴ Byte
مدل باتری	Constant
زمان شبیه‌سازی	۲۰۰ ثانیه
پروتکل لایه mac	IEEE ۸۰۲/۱۵/۴
مقدار اولیه انرژی	۲۰۰ تا ۴۰۰ ژول
تعداد سینک	۱
تعداد گره‌ها	۶۰
برد انتقال رادیویی	۱۰۰ متر
زمان ورود بسته (packet inter arrival time)	Constant

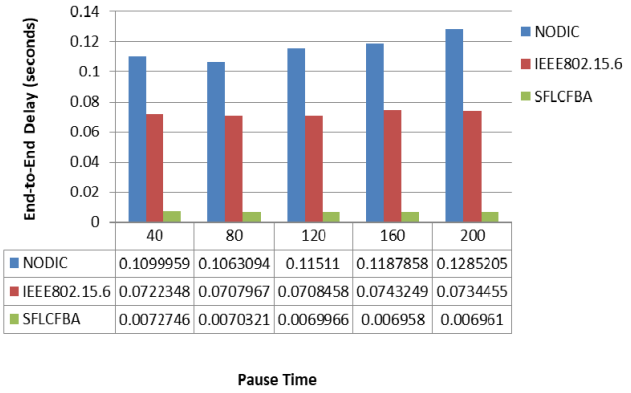
است و برای کاربردهای بلادرنگ مناسب می‌باشد [۱۴] در محیط پراکنده شده‌اند و در سناریوی دوم گره‌ها به صورت تصادفی در محیط پخش شده‌اند که الگوریتم قورباغه جهنده خوشه‌بندی را انجام می‌دهند و در سناریوی سوم با پروتکل NODIC گره‌های حسگر خوشه‌بندی شده و به ارسال اطلاعات مربوط به هدف از طریق سرخوشه‌ها به گره سینک اقدام می‌کنند. برای هر سه سناریو همبندی یکسان و پیکربندی پارامترهای یکسان را فرض کرده‌ایم (جدول ۸).

٤-٢ نتایج شبیه‌سازی

شکل ۸ به مقایسه میانگین انرژی مصرفی شبکه برای سناریوی الگوریتم پیشنهادی، سناریوی پروتکل IEEE ۸۰۲/۱۵/۴ و پروتکل NODIC می‌پردازد. محور عمودی، انرژی مصرفی و محور افقی، زمان شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. انرژی مصرفی برابر است با مجموع انرژی استفاده‌شده توسط گره‌های درون شبکه برای ارتباطات، شامل انتقال داده و دریافت داده و انرژی مصرفی انتظار می‌باشد. چنان که انتظار می‌رود پروتکل IEEE ۸۰۲/۱۵/۴ دارای بالاترین مصرف انرژی است زیرا گره‌های شبکه آگاهانه عمل نمی‌کنند و بدون توجه به میزان انرژی گره،



شکل ۸: میانگین انرژی مصرفی شبکه.

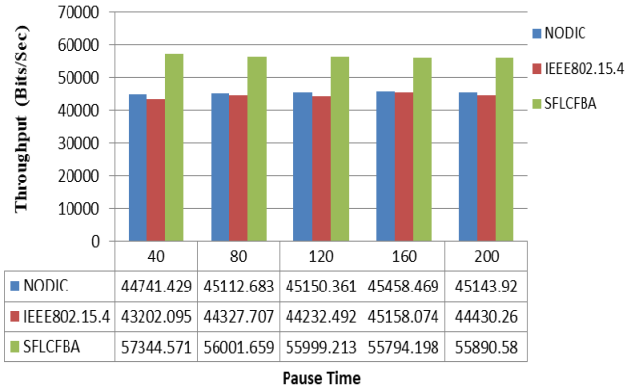


شکل ۹: تأخیر انتها به انتها.

اطلاعات داده جمع‌آوری شده را مستقیماً به گره سینک ارسال می‌کنند. همچنین در پروتکل NODIC در شرایطی که شبکه به سمت انتخاب سرخوشه بر اساس جایگاه گره سوئیچ کرده است، گره‌ای که همسایگان بیشتری دارد و انرژی باقیمانده‌اش کمتر از حد آستانه نباشد، سرخوشه می‌شود و در غیر این صورت اگر گره‌ای با این ویژگی موجود نبود، این الگوریتم خوشه‌بندی مجدد را انجام نمی‌دهد. لذا ممکن است سرخوشه‌های انتخابی در دورهای بعدی، انرژی کمتر و همسایگان کمتری داشته باشد لذا آنها را سرخوشه انتخاب کند و به دلیل مصرف انرژی بالا در سرخوشه‌ها، این گره‌ها انرژی خود را سریع از دست بدهند و توپولوژی شبکه به هم بریزد.

در صورتی که در روش پیشنهادی با استفاده از خوشه‌بندی توسط الگوریتم قورباغه جهنده، گرهی به عنوان سرخوشه برای ارسال و انتقال داده استفاده می‌شود که انرژی بیشتر و فاصله تا سینک کمتری را داشته باشد و از طرفی با توجه به این که گره‌های عضو نیز با توجه به فاصله‌شان به گره سرخوشه می‌پیوندند، لذا برای ارسال داده از گره عضو به سرخوشه نیز نیازی نیست انرژی مصرفی زیادی صرف شود. از طرفی به دلیل این که الگوریتم پیشنهادی بر مبنای جستجوی محلی و سراسری است، به دلیل تمرکز بر جستجوی محلی، معمولاً جواب‌های قابل قبولی را برای سرخوشه‌شدن پیدا می‌کند. گره‌های مناسب با انرژی بالا و فاصله کمتر از سینک، سرخوشه می‌شوند لذا برای ارتباط با سینک انرژی کمتری لازم خواهد بود. همچنین در دورهای بعدی اگر گره‌های با شرایط مناسب را برای خوشه‌بندی پیدا نکند مجدداً عمل خوشه‌بندی را انجام می‌دهد.

شکل ۹ به مقایسه تأخیر انتها به انتها برای سناریوهای الگوریتم پیشنهادی، سناریوی پروتکل IEEE ۸۰۲/۱۵/۴ و سناریوی پروتکل NODIC می‌پردازد. محور عمودی، تأخیر انتها به انتها و محور افقی، زمان شبیه‌سازی است. تأخیر انتها به انتها عبارت است از زمانی که طول

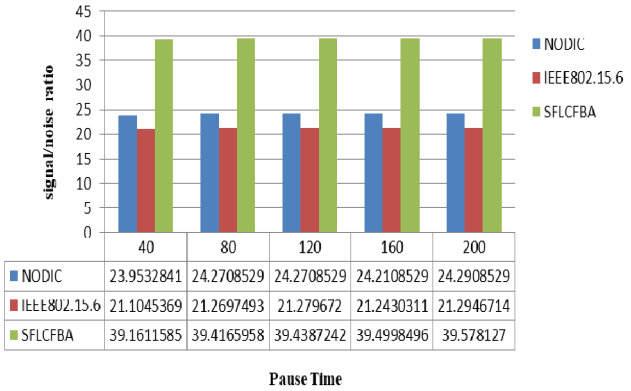


شکل ۱۰: نرخ گذردهی.

می‌کشد تا یک بسته داده از فرستنده به گیرنده انتقال داده شود. برای محاسبه میانگین تأخیر انتها به انتها، تأخیر انتها به انتهای تمام بسته‌ها که توسط گیرندگان دریافت می‌شود محاسبه می‌گردد و میانگین آنها محاسبه می‌شود. چنان که مشاهده می‌شود در سناریوی پروتکل IEEE ۸۰۲/۱۵/۴ تأخیر افزایش می‌یابد زیرا برخی از گره‌های شبکه ممکن است بخشی از داده را ارسال نمایند و برای ادامه ارسال انرژی کمی داشته باشند و نتوانند عمل انتقال اطلاعات را تکمیل کنند. در پروتکل NODIC نیز ممکن است در همان دورهای ابتدایی، انرژی گره‌های سرخوشه کاهش یابد و نتواند اطلاعات حس‌شده را انتقال دهد، اما در پروتکل پیشنهادی چون در خوشه‌بندی، سرخوشه‌ها از بین گره‌ها با انرژی بیشتر انتخاب می‌شوند و اعضای خوشه نیز بر حسب فاصله به سرخوشه می‌پیوندند، لذا تأخیر انتها به انتها کاهش یافته است.

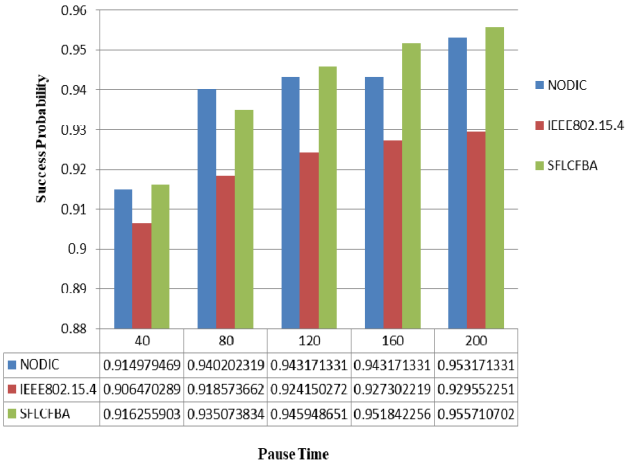
شکل ۱۰ نرخ گذردهی را برای سه سناریو نشان می‌دهد. محور افقی، زمان شبیه‌سازی و محور عمودی، تعداد بیت‌های داده تحویل داده شده در زمان یا نرخ گذردهی را نشان می‌دهد. گذردهی برابر کل بسته‌های دریافت‌شده توسط گیرنده‌ها تقسیم بر زمان بین دریافت اولین بسته و آخرین بسته است. در واقع برابر با تقسیم اندازه فایل در آن زمان، در واحد مگابیت بر ثانیه می‌باشد. با توجه به شکل ۱۰ پروتکل IEEE ۸۰۲/۱۵/۴ نسبت به پروتکل NODIC و پروتکل پیشنهادی تعداد بسته‌هایی که با موفقیت سینک تحویل داده شده نسبت به کل بسته‌های انتقال داده شده توسط گره‌های حسگر به دلیل ایجاد ازدحام و خاموش‌شدن احتمالی گره کم است. در صورتی که در پروتکل پیشنهادی ما بعد از انجام عمل خوشه‌بندی چون در تشکیل خوشه‌ها گره‌ها با بالاترین انرژی مسیر انتخاب می‌شود بعد از کشف مسیر به دلیل کشف مسیرهای پایدار، مطمئن هستیم که حداقل تا انتهای فاز انتقال داده مسیر برقرار است و انرژی گره‌های در مسیر انتخابی زود تمام نمی‌شود. لذا مسیر پایدار تا انتهای فاز انتقال داده تغییر نمی‌کند و بنابراین تعداد بسته تحویل داده شده به گره سینک در روش پیشنهادی بیشتر خواهد بود.

شکل ۱۱ به مقایسه نسبت سیگنال به نویز برای سناریوهای الگوریتم پیشنهادی، سناریوی پروتکل IEEE ۸۰۲/۱۵/۴ و سناریوی پروتکل NODIC می‌پردازد. محور افقی، زمان شبیه‌سازی و محور عمودی، نسبت سیگنال به نویز را نشان می‌دهد. نسبت سیگنال به نویز، معیاری جهت نمایش میزان سیگنال مفید در مقابل سیگنال مزاحم یا نویز است. این عدد در واقع میزان قدرت نویز تحمیل‌شده به یک سیگنال در مقابل قدرت خود سیگنال را نمایش می‌دهد. این شاخص هرچه بیشتر باشد بهتر بوده و نشان‌دهنده سیگنال مفید بیشتری است. با توجه به شکل ۱۱ پروتکل IEEE ۸۰۲/۱۵/۴ نسبت به پروتکل پیشنهادی و پروتکل NODIC



	40	80	120	160	200
NODIC	23.9532841	24.2708529	24.2708529	24.2108529	24.2908529
IEEE802.15.6	21.1045369	21.2697493	21.279672	21.2430311	21.2946714
SFLCFBA	39.1611585	39.4165958	39.4387242	39.4998496	39.578127

شکل ۱۱: نسبت سیگنال به نویز.



	40	80	120	160	200
NODIC	0.914979469	0.940202319	0.943171331	0.943171331	0.953171331
IEEE802.15.4	0.906470289	0.918573662	0.924150272	0.927302219	0.929552251
SFLCFBA	0.916255903	0.935073834	0.945948651	0.951842256	0.955710702

شکل ۱۲: احتمال موفقیت ارسال اطلاعات به گره sink.

نسبت سیگنال به نویز کمتری دارد، زیرا ممکن است پروتکل IEEE ۸۰۲/۱۵/۴ از مسیرهای ناپایدار برای ارسال استفاده کند و در حین ارسال، تعداد بیت‌هایی که دچار خطا شده‌اند زیاد شده و نسبت سیگنال به نویز کاهش یابد. همچنین ممکن است سیگنال اطلاعات ارسال‌شده توسط پروتکل IEEE ۸۰۲/۱۵/۴ در اثر ازدحام و ایجاد اغتشاش از بین برود و احتمال نویز بالا برود، لذا کیفیت داده‌های ارسالی کاهش یابد.

شکل ۱۲ به مقایسه احتمال موفقیت ارسال اطلاعات به گره سینک برای سناریوی پیشنهادی، سناریوی پروتکل IEEE ۸۰۲/۱۵/۴ و پروتکل NODIC می‌پردازد. احتمال موفقیت ارسال به سینک برابر نرخ داده‌هایی است که با موفقیت به سینک ارسال شده است. چنان که مشاهده می‌شود در پروتکل IEEE ۸۰۲/۱۵/۴ درصد موفقیت ارسال نسبت به دو پروتکل دیگر پایین است زیرا برخی از گره‌های شبکه ممکن است در حین انجام عمل ارسال اطلاعات خاموش شود و عمل انتقال اطلاعات تکمیل نگردد. ولی در پروتکل پیشنهادی به دلیل انتخاب مسیر با اطمینان بالا که حاوی گره‌هایی با انرژی بالا هست، احتمال ارسال داده به سینک افزایش می‌یابد.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به محدودیت‌های انرژی گره‌های حسگر و نقش خوشه‌بندی به عنوان یک راه حل مؤثر برای مدیریت مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، در این مقاله یک روش جدید خوشه‌بندی با استفاده از الگوریتم قورباغه جهنده ارائه شد که برای تعیین مقدار برازندگی حسگرها از منطق فازی بر حسب دو معیار میزان انرژی باقیمانده گره و فاصله تا سینک استفاده می‌کند. الگوریتم قورباغه جهنده با داشتن قابلیت جستجوی سراسری و محلی، امکان تعیین سرخوشه‌های مناسب را تضمین می‌کند. برای ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی و مقایسه نتایج با پروتکل IEEE ۸۰۲/۱۵/۴ و پروتکل NODIC از شبیه‌ساز OPNET استفاده شد و نتایج شبیه‌سازی نظیر انرژی مصرفی، تأخیر انتها به انتها، نرخ سیگنال به نویز، احتمال موفقیت ارسال داده به سینک و نرخ گذردهی استخراج شدند. به طور کلی مشاهده شد که روش پیشنهادی، رفتار بهتری نسبت به پروتکل IEEE ۸۰۲/۱۵/۴ و پروتکل NODIC دارد. همچنین قادر است به دلیل انتخاب مسیرهای پایدارتر با گره‌هایی با انرژی بالا، کارایی کلی شبکه و طول عمر شبکه را بهبود بخشد و قابلیت اطمینان تحویل بسته را افزایش دهد.

مراجع

[1] K. Romer and F. Mattern, "The design space of wireless sensor networks," *IEEE Wireless Communications*, vol. 11, no. 6, pp. 54-61, Dec. 2004.

[2] B. Baranidharan, S. Srividhya, and B. Santhi, "Energy efficient hierarchical unequal clustering in wireless sensor networks," *Indian J. Sci Technol*, vol. 7, no. 3, pp. 301-305, Apr. 2014.

[3] S. Tabatabaei and A. M. Rigi, "Reliable routing algorithm based on clustering and mobile sink in wireless sensor networks," *Wireless Personal Communications*, vol. 108, no. 4, pp. 2541-2558, May 2019.

[4] S. Radhika and P. Rangarajan, "On improving the lifespan of wireless sensor networks with fuzzy based clustering and machine learning based data reduction," *Applied Soft Computing*, vol. 83, Article No.: 105610, Oct. 2019.

[5] M. Fyffe, M. T. Sun, and X. Ma, "Traffic-adapted load balancing in sensor networks employing geographic routing," in *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conf., WCNC'07,* pp. 4389-4394, Hong Kong, China, 11-15 Mar. 2007.

[6] R. Logambigai, S. Ganapathy, and A. Kannan, "Energy-efficient grid-based routing algorithm using intelligent fuzzy rules for wireless sensor networks," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 68, pp. 62-75, 2018.

[7] M. Arghavani, M. Esmaeili, M. Esmaeili, F. Mohseni, and A. Arghavani, "Optimal energy aware clustering in circular wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 65, pp. 91-98, Oct. 2017.

[8] S. Tabatabaei, A. Rajaei, and A. M. Rigi, "A novel energy-aware clustering method via lion pride optimizer algorithm (LPO) and fuzzy logic in wireless sensor networks (WSNs)," *Wireless Personal Communications*, vol. 108, pp. 1803-1825, 2019.

[9] A. Shelebaf and S. Tabatabaei, "A novel method for clustering in WSNs via TOPSIS multi-criteria decision-making algorithm," *Wireless Personal Communications*, vol. 112, pp. 985-1001, 2020.

[10] R. Singh and A. K. Verma, "Energy efficient cross layer based adaptive threshold routing protocol for WSN," *AEU-International J. of Electronics and Communications*, vol. 72, pp. 166-173, Feb. 2017.

[11] D. R. Chen, L. C. Chen, M. Y. Chen, and M. Y. Hsu, "A coverage-aware and energy-efficient protocol for the distributed wireless sensor networks," *Computer Communications*, vol. 137, pp. 15-31, 2019.

[12] M. Wang, S. Wang, and B. Zhang, "APTEEN routing protocol optimization in wireless sensor networks based on combination of genetic algorithms and fruit fly optimization algorithm," *Ad Hoc Networks*, vol. 102, Article No.: 102138, 1 May 2020.

[13] W. Rehan, S. Fischer, M. Rehan, Y. Mawad, and S. Saleem, "QCM2R: a QoS-aware cross-layered multichannel multisink routing protocol for stream based wireless sensor networks," *J. of Network and Computer Applications*, vol. 156, Article No.: 102552, 15 Apr. 2020.

[14] N. P. Mahalik, *Sensor Networks and Configuration*, Springer, 2007.

شایسته طباطبائی تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر- نرم‌افزار به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۷ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد شبستر و مقطع دکتری مهندسی کامپیوتر- سیستم‌های نرم‌افزاری در سال ۱۳۹۳ از دانشگاه علوم و تحقیقات تهران به پایان رسانده است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان شامل موضوعاتی مانند ایده‌های نو در خوشه‌بندی، QOS، مسیریابی و امنیت در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، اینترنت اشیا، محاسبات نرم و کاربردهای آن و شبکه‌های موردی سیار می‌باشد.