

## بهبود مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از الگوریتم مگس میوه و منطق فازی

حامد شهرکی و شایسته طباطبایی\*

دانشکده مهندسی، دانشگاه ولایت ایرانشهر، ایرانشهر، ایران  
دانشکده مهندسی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۳

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

### چکیده

فرستنده‌های اطلاعات در شبکه‌های حسگر بی‌سیم منابع ذخیره و انرژی محدودی دارند. یکی از حیاتی‌ترین مسائل در طراحی این شبکه‌ها، استفاده بهینه از انرژی است، چرا که شارژ یا جایگزینی باتری در گره‌های حسگر تقریباً غیر ممکن است. در راستای رفع محدودیت‌های انرژی در شبکه‌های حسگر، بکارگیری الگوریتم‌های خوشه‌بندی می‌تواند نقشی موثر ایفا کند. در واقع، این الگوریتم‌ها با یک خوشه‌بندی مناسب و انتخاب سرخوشه‌های بهینه به متعادل کردن بار شبکه کمک می‌کنند که این امر به کاهش مصرف انرژی و متعاقباً افزایش طول عمر شبکه منتهی خواهد شد.

بر این اساس در این مقاله، به منظور انتخاب بهترین گره‌ها به عنوان سرخوشه، روشی جدید بر اساس الگوریتم مگس میوه و منطق فازی پیشنهاد شده است. در پروتکل پیشنهادی، از منطق فازی جهت محاسبه پارامتر شدت بو در الگوریتم مگس میوه استفاده می‌شود. گره‌های کاندید سرخوشه شدن از سه پارامتر فاصله تا سینک، میزان انرژی باقیمانده باتری و فاصله تا مرکز خوشه به عنوان ورودی فازی (جهت محاسبه شدت بو) استفاده می‌کنند. با شبیه‌سازی روش پیشنهادی و مقایسه آن با پروتکل‌های شناخته شده (ادامه دارد)

عبارات و کلمات کلیدی: شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مصرف انرژی، منطق فازی، الگوریتم مگس میوه،

پروتکل مسیریابی AFSRP، DCCRRP

Email(s): h.shahraki@velayat.ac.ir, shtabatabaey@yahoo.com.

AFSRP (Artificial Fish Swarm Optimization Routing protocol) و DCRRP (Distributed Clustering Reliability Routing) می‌توان دریافت که پروتکل پیشنهادی عملکرد بسیار بهتری از نظر مصرف انرژی، تأخیر ارسال داده و نسبت سیگنال به نویز نسبت به AFSRP و DCRRP دارد. بطوری که نرخ تأخیر انتها به انتها به میزان  $2/40$  درصد نسبت به سناریوی پروتکل AFSRP و به میزان  $19/48$  درصد نسبت به سناریوی پروتکل DCRRP، نرخ تأخیر دسترسی به رسانه نسبت به پروتکل DCRRP به میزان  $2/81$  درصد، نرخ گذردهی به میزان  $6/16$  درصد نسبت به سناریو پروتکل AFSRP و همچنین به میزان  $4/31$  درصد نسبت به سناریو پروتکل DCRRP، نرخ تحویل با موفقیت بسته های داده به میزان  $2/18$  درصد نسبت به سناریو پروتکل AFSRP و همچنین به میزان  $1/93$  درصد نسبت به سناریو پروتکل DCRRP، نسبت سیگنال به نویز به میزان  $2/93$  درصد نسبت به سناریو پروتکل AFSRP و همچنین به میزان  $0/41$  درصد نسبت به سناریو پروتکل DCRRP و میانگین انرژی مصرفی باتری به میزان  $9/57$  درصد نسبت به سناریوی پروتکل AFSRP و همچنین به میزان  $10/71$  درصد نسبت به سناریو پروتکل DCRRP بهبود یافته است.

## ۱ مقدمه

پیشرفت های اخیر در زمینه طراحی و ساخت سنسورهای کم مصرف، کوچک و مقرون به صرفه، منجر به ایجاد شبکه های حسگر بی سیم WSN<sup>۱</sup> شده است. به طور کلی، یک WSN شامل حسگرهای بسیاری است که داده های آنها برای اندازه گیری یک یا چند پارامتر در نظر گرفته می شود. این حسگرها می توانند در محدوده هایی که کار برای انسان دشوار یا غیرممکن است مورد استفاده قرار گیرند. تمام بسته های داده جمع آوری شده از محیط برای پردازش بیشتر به گره ای از شبکه که معمولاً ایستگاه پایه نامیده می شود، منتقل می شوند. آنها هنگام توزیع بسیار آسیب پذیر هستند، بنابراین، به طور طبیعی چنین شبکه هایی از صدها یا حتی هزاران گره تشکیل می شوند. طول عمر یک شبکه حسگر به نحوه مصرف انرژی بستگی دارد. جهت مقابله با محدودیت انرژی در این شبکه ها، روش های زیادی نظیر تجمع داده ها، تخصیص منابع با استفاده از طراحی لایه

<sup>1</sup>Wireless Sensor Network

ای متقابل، برنامه ریزی دوره خواب و بیداری، استفاده از سینک‌های سیار، استقرار بهینه، خوشه بندی و مسیریابی چند گامه ارائه شده است. خوشه بندی نمونه ای از این روش ها است و به عنوان یک روش انرژی کارآمد و مقیاس پذیر برای شبکه های WSN در نظر گرفته می‌شود. برای خوشه بندی در شبکه های WSN، سنسورها به گروه ها یا خوشه های خاصی تقسیم می‌شوند که هر کدام از آنها دارای یک سرخوشه (CH) هستند. حسگرهای موجود در هر خوشه، اطلاعات مربوطه را به صورت دوره ای یا پس از یک رویداد (نظیر آتش سوزی و غیره) به سرخوشه ها منتقل می‌کنند. سپس سرخوشه ها اطلاعات را مستقیماً یا به صورت چند گامه به ایستگاه پایه منتقل می‌کنند. در واقع، الگوریتم های خوشه بندی با محدود کردن تعاملات گره به سرخوشه، به کاهش ارتباطات سربار، تثبیت توپولوژی شبکه، به حداقل رساندن انرژی مصرفی و در نتیجه افزایش طول عمر شبکه منتهی می‌شوند. از طرف دیگر، مسیریابی مناسب با تأخیر پایین یکی از مهم ترین لازمه های بازدهی مناسب در این شبکه ها است. با این حال، دستیابی به الگوریتم خوشه بندی و مسیریابی بهینه در WSN ها یک مشکل NP-hard است که می‌تواند با تکنیک های محاسبات نرم و بهینه سازی برطرف شود. بر این اساس، در سال های اخیر الگوریتم های هوشمند بسیاری جهت خوشه بندی و مسیریابی شبکه های حسگر، با هدف بهبود مصرف انرژی ارائه شده است که از آن جمله، می‌توان به ERA و AFSRP اشاره کرد. علیرغم مزایای فراوان بکارگیری چنین الگوریتم هایی، مشکلاتی نیز از جمله سرعت همگرایی پایین، هزینه پردازش بالا و پیچیدگی های محاسباتی وجود دارند. همچنین، مساله عدم برقراری توازن میان جستجوی محلی و سراسری گاه‌ها مشاهده می‌گردد، در هنگام رخداد چنین پدیده ای، الگوریتم ها ممکن است در مرحله بروزرسانی موقعیت مکانی تصادفی عمل نمایند، این موضوع باعث واکنش های کورکورانه در برخی شرایط شده و در نتیجه احتمال به دام افتادن در بهینه محلی بالا می‌رود. در این مقاله، الگوریتم هوشمند بهینه سازی مگس میوه (به عنوان الگوریتم پایه روش پیشنهادی) و الگوریتم هوشمند AFSRP (به عنوان یک پروتکل شناخته هوشمند جهت مقایسه) جهت شبیه سازی شبکه انتخاب می‌شوند. هر دو الگوریتم از مشکلات مطرح شده در بالا رنج می‌برند. در راستای رفع چالش های فوق، منطق فازی جهت بهبود عملکرد الگوریتم پایه (بهینه سازی مگس میوه با توپولوژی ۵۰ گره ای) بکار گرفته می‌شود؛ انتظار می‌رود،

روش پیشنهادی به دلیل استفاده از منطق فازی در ساختار الگوریتم بهینه سازی مگس میوه نسبت به الگوریتم AFSRP که فقط از الگوریتم ازدحام ماهی استفاده می‌کند، سرخوشه های بهینه تر و مسیرهای مناسب تری با حداقل هزینه های سربار و انرژی مصرفی به سینک پیدا کند. در واقع در شرایط غیرقطعی و نامشخص شبکه های حسگر، استفاده از منطق فازی که یک نگاه فرآیندی به استنتاج با استفاده از قیدها و شرطهای منعطف دارد، در ترکیب با یک الگوریتم بهینه سازی می تواند مسئله خوشه بندی شبکه حسگر را سریع و با هزینه پردازش پایین حل نماید. رفع مشکل به دام افتادن در بهینه محلی و سرعت پایین همگرایی در الگوریتم های بهینه سازی از نتایج مورد انتظار خواهد بود. ساختار مقاله حاضر به صورت زیر است: در بخش دوم پیشینه تحقیق بیان می شود که به موضوع و مطالعات انجام یافته قبلی در زمینه بهبود مصرف انرژی در شبکه WSN می پردازد، در بخش سوم الگوریتم مگس میوه و منطق فازی که برای خوشه بندی استفاده می شوند بررسی خواهند شد، نتایج حاصل از شبیه سازی الگوریتم پیشنهادی در بخش چهارم مطرح می شود. در نهایت بخش پنجم به نتیجه گیری می پردازد.

## ۲ کارهای مرتبط

در سال ۲۰۱۸ یک پروتکل مسیریابی که از معیارهای فاصله از سینک، انرژی باقیمانده و فاصله بین گره ها برای انتخاب سرخوشه بهینه استفاده می کند، توسط مالی و گاتام پیشنهاد شد [۱]. پروتکل ارایه شده در واقع ترکیبی از الگوریتم های ژنتیک و شبیه سازی حرارت است که موجب بهبود طول عمر شبکه می شود. الگوریتم مسیریابی پیشنهادی دارای برخی از پارامترهای قابل کنترل است که تنظیم آن ها، یک مسئله مهم برای دستیابی به بهترین بازدهی در کاربردهای خاص می باشد. انتخاب سرخوشه ها در شبکه های حسگر، می تواند بر اساس معیارهای مختلف صورت پذیرد. کایران و همکاران [۲] برای انتخاب سرخوشه های بهینه دو معیار انرژی و مکان گره را به صورت همزمان در نظر گرفتند. در روش پیشنهادی گره های عادی با ارسال پیام اتصال درخواست عضویت می دهند و انرژی باقیمانده خود را برای سرخوشه موقت ارسال می کنند. سپس سرخوشه موقت با توجه به انرژی گره های حسگر، انرژی باقیمانده ی کل شبکه را به دست می آورد، اگر انرژی باقیمانده شبکه بالاتر از  $x$  درصد باشد، گره ای که انرژی بیشتری دارد به

عنوان سرخوشه انتخاب می شود، در غیر این صورت گره ای که همسایگان بیشتری دارد سرخوشه جدید خواهد بود. در انتهای فرایند، سرخوشه ی جدید با ارسال یک پیام حضور خود را به عنوان سرخوشه اعلام می دارد. شبیه سازی الگوریتم پیشنهادی حاکی از افزایش طول عمر شبکه با توجه به کاربرد همزمان هر دو معیار انرژی و موقعیت مکانی در انتخاب سرخوشه است.

در سال ۲۰۲۲، کومار و همکاران [۳] به منظور توسعه یک الگوریتم جستجوی سراسری با نرخ همگرایی سریع، از روش خوشه بندی LEACH<sup>۲</sup> استفاده کردند. این روش ترکیبی از الگوریتم جستجوی هارمونی (HSA<sup>۳</sup>) و بهینه سازی ازدحام رقابتی (CSO<sup>۴</sup>) بوده و برای انتخاب کارآمد سرخوشه (CH) از معیار انرژی استفاده می کند. همچنین، روش پیشنهادی با توجه به دارا بودن قابلیت جستجوی پیشرفته الگوریتم HSA و پویایی روش CSO (بطور همزمان)، می تواند عمر گره های حسگر را افزایش دهد. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که روش پیشنهادی از نظر نرخ گذردهی و انرژی باقی مانده، عملکرد بهتری نسبت به HSA و CSO دارد.

در سال ۲۰۲۱، به منظور بهبود دقت و سرعت الگوریتم (K-Nearest-Neighbor) KNN و حل مشکل تعیین مناسب ترین مرکز اولیه، یک الگوریتم خوشه بندی بهبود یافته تحت عنوان ICD-KNN<sup>۵</sup> توسط دینگ و همکاران پیشنهاد شد [۴]. این الگوریتم شامل دو مرحله است: مرحله خوشه بندی و مرحله تخمین موقعیت. مرحله خوشه بندی از الگوریتم خوشه بندی K-Means استفاده می کند. در الگوریتم پیشنهادی در مرحله تخمین موقعیت، آستانه مکانی به صورت پویا، با توجه به پراکندگی نقاط مرجع تنظیم می شود تا نقاط مرجع منفرد را فیلتر کرده و دقت موقعیت یابی را در مقایسه با سایر الگوریتم های آستانه مکانی بهبود بخشد. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که دقت موقعیت یابی پروتکل ICD-KNN در مقایسه با الگوریتم های آستانه پویا (DH-KNN<sup>۶</sup>)، الگوریتم های K-Means و الگوریتم های KNN به ترتیب ۱۰، ۳۸ و ۳۹ درصد بهبود یافته است. خوشه بندی داده های توزیع شده مبتنی بر الگوریتم K-Means

<sup>2</sup>Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

<sup>3</sup>Harmony Search Algorithm

<sup>4</sup>Competitive Swarm Optimization

<sup>5</sup>improved clustering dynamic threshold location algorithm

<sup>6</sup>dynamic threshold K-Nearest-Neighbor algorithms

رایج، دارای محدودیت در تشخیص خوشه‌های شکل دلخواه است و به تعدادی خوشه از قبل تعریف شده نیاز دارد. به منظور جبران محدودیت فوق، کاتاری و ناندا [۵]، الگوریتم (DN-DBSCAN<sup>۷</sup>) را برای خوشه‌بندی داده‌های موثر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پیشنهاد داده‌اند. این الگوریتم، نقاط اصلی انتخاب شده (به دست آمده پس از اجرای DBSCAN محلی در هر گره) را در میان گره‌های همسایه‌ای که DBSCAN مجدداً اجازه اجرا روی آن‌ها را دارد، به اشتراک می‌گذارد که این امر منجر به تشکیل خوشه‌های سراسری می‌شود. همچنین، با مشاهده الگوهای خوشه‌بندی جهانی هر گره حسگر، خوشه‌های محلی خود را از طریق برجسب‌گذاری مجدد خوشه تنظیم می‌کند. نتایج شبیه‌سازی‌ها، حاکی از آن است که رویکرد پیشنهادی محدودیت‌های خوشه‌بندی مبتنی بر K-Means رایج را (با توجه به دقت و زمان محاسباتی فوق‌العاده) برطرف می‌کند. در تکنیک مسیریابی بین خوشه‌ای تک‌گامه، انتقال مستقیم داده از سرخوشه‌ها به ایستگاه پایه توسط خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی انجام می‌شود. با این حال، برای شبکه‌های گسترده، این تکنیک قابل اجرا نیست. به منظور تسهیل شکل‌گیری خوشه‌ها، الگوریتم جدید Orphan-LEACH بهینه شده (O-LEACH) توسط سنتیل و همکاران [۶] پیشنهاد شد که می‌تواند به کاهش مصرف انرژی و در نتیجه افزایش طول عمر شبکه منجر شود. در این الگوریتم انرژی کافی در اختیار گرهی قرار می‌گیرد که تلاش در پوشش شبکه دارد. مزیت اصلی پروتکل O-LEACH این است که پوشش کل شبکه با کمترین تعداد گره‌های پوشش‌دهنده آن تأمین می‌شود و نرخ اتصال بسیار بالایی دارد. در پروتکل فوق از یک روش بهینه‌سازی ترکیبی که شامل الگوریتم جستجوی رعد و برق (LSA) و بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) است استفاده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که روش پیشنهادی قادر است با انتخاب سرخوشه موثر، مسیر بهینه با کمترین میزان مصرف انرژی را به دست آورد که این امر به افزایش طول عمر WSN منتهی خواهد شد. در سال ۲۰۲۲، یک روش انتخاب سرخوشه با انرژی کارآمد بنام الگوریتم انتخاب سرخوشه مرکزی (C<sup>۳</sup>HA<sup>۸</sup>) برای شبکه‌های همگن توسط تای و سنتورک [۷]، پیشنهاد شد. هدف الگوریتم پیشنهادی کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های بی‌سیم از طریق تعیین دقیق سرخوشه در حین انتقال داده است. در روش پیشنهادی سرخوشه‌ها نزدیک

<sup>7</sup>Distributed Neighborhood DBSCAN

<sup>8</sup>Cluster Centered Cluster Head Selection Algorithm

به مرکز خوشه انتخاب می شوند، در نتیجه، مصرف انرژی در طول انتقال بسته از گره ها به ایستگاه پایه به حداقل مقدار ممکن خواهد رسید. نتایج شبیه سازی حاکی از آن است که در الگوریتم پیشنهادی به طور متوسط، ۱۴/۶۸ درصد گره های بیشتری در شبکه زنده هستند، همچنین تعداد بسته های ارسال شده ۱۸۷/۵ درصد بیشتر از پروتکل LEACH می باشد. لازم به ذکر است که انرژی باقیمانده روش پیشنهادی حدود ۲۰ درصد بیشتر از الگوریتم های LEACH و PEGASIS است.

موهانادیوی و سلواکومار [۸]، یک پروتکل مسیریابی چند مسیره و آگاه از کیفیت سرویس (QoS) را پیشنهاد کردند. در روش پیشنهادی گره های حسگر با استفاده از ترکیبی از الگوریتم های بهینه سازی ازدحام ذرات و بهینه سازی جستجوی فاخته خوشه بندی می شوند. انتقال داده در این پروتکل، از طریق چندین مسیر پایدار (از طریق سرخوشه ها) و بر اساس ارتباطات چند گامه صورت می پذیرد. این روش به مسیرهایی متکی است که برای انتقال سریع داده ها روی QoS تأثیر نمی گذارند. الگوریتم فوق، همچنین با تغییر سرخوشه ها به صورت دوره ای و بر اساس انرژی باقیمانده، طول عمر شبکه را افزایش داده و از تعداد بهینه مسیرها برای انتقال داده ها استفاده می کند.

با هدف دستیابی همزمان به قابلیت اطمینان بالا و حفاظت بهتر از انرژی مصرفی در شبکه های حسگر بی سیم، پروتکل مسیریابی<sup>۹</sup> HECRPL [۹]، توسط ژائو و همکاران پیشنهاد شد. در HECRPL، هر گره حسگر از مجموعه سرخوشه های خود، یک مجموعه بهینه از گره های ارسال را با یک رویکرد سلسله مراتبی انتخاب می کند. پروتکل HECRPL با در نظرگیری همزمان مصرف انرژی و ماهیت ائتلاف لینک های بی سیم قادر است استحکام<sup>۱۰</sup> توپولوژی را بهبود بخشیده و امکان مسیریابی پویا را فراهم کند. با کاربرد چنین رویکردی، طول عمر شبکه و قابلیت اطمینان آن بهبود می یابد.

در سال ۲۰۱۷، یک پروتکل مسیریابی جدید براساس فیلتر کالمن توسعه یافته تحت عنوان EKF-MRPL توسط بو عزیز و همکاران [۱۰]، معرفی شد. هدف از ارائه این پروتکل، فراهم کردن یک اتصال یکپارچه با استفاده از گره های سیار و همچنین کاهش تعداد سوئیچینگ بین نقاط اتصال است، چنین رویکردی، به کاهش سربار سیگنال و نیز کاهش مصرف انرژی منتهی می گردد. در روش پیشنهادی برای پیش بینی نقطه اتصال

<sup>9</sup>Hybrid Energy-Efficient Cluster based RPL

<sup>10</sup>robustness

بهبود مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به کمک منطق فازی \_\_\_\_\_ ۲۰۲

جدید یک گره متحرک، یک مسیر غیر خطی براساس فیلتر کالمن پیشنهاد و یک مدل تحلیلی راه‌اندازی می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که پروتکل پیشنهادی نسبت به الگوریتم EC-MRPL از نظر هزینه سیگنال دهی، مصرف انرژی، نسبت تحویل بسته و تاخیر تحویل بهتر عمل می‌کند.

با هدف فائق آمدن بر مشکلات مصرف انرژی و تعادل بار در پروتکل مسیریابی RPL در شبکه‌های WSN، یک روش جدید توسط ژنگ و همکاران [۱۱]، در سال ۲۰۱۷ معرفی شد. این الگوریتم که از خوشه ناهمگون (با اندازه‌های مختلف) بر اساس انرژی باقیمانده گره‌ها و موقعیت نسبی آن‌ها استفاده می‌کند، با ترکیبی از خوشه بندی ناهمگن و یک مکانیزم چرخش خوشه‌ای، انرژی مصرفی گره‌ها را در شبکه متعادل نگه داشته و از تولید حفره‌های انرژی جلوگیری می‌نماید.

گرگیچ و طباطبایی [۱۲]، به منظور مصرف بهینه انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، یک پروتکل مسیریابی آگاه از انرژی را با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ماهی‌ها بنام AFSRP ارائه نمودند که میزان انرژی مصرفی را بهبود می‌بخشید. نتایج شبیه‌سازی پروتکل پیشنهادی و پروتکل ERA<sup>۱۱</sup> در شبیه‌سازی اپنت نشان داد که پروتکل پیشنهادی از نظر مصرف انرژی، تأخیر انتها به انتها، تأخیر دسترسی به رسانه، نرخ گذردهی، احتمال موفقیت ارسال به سینک و نسبت سیگنال به نویز، دارای عملکرد بهتری نسبت به پروتکل ERA می‌باشد. از جمله مهم‌ترین عیوب این روش آن است که بهینه‌سازی ماهی‌ها تنها در محیط‌های استاتیک کاربرد دارد و برای محیط‌های پویا نظیر شبکه حسگر سرعت همگرایی آن کاهش می‌یابد.

در [۱۳]، به منظور مصرف بهینه انرژی یک پروتکل مسیریابی بنام DCRRP را ارائه نمودند. روش پیشنهادی با استفاده از سینک سیار و خوشه بندی، طول عمر شبکه را افزایش می‌دهد. در این روش سرخوشه‌ها با انتخاب بهترین گره جایگزین به عنوان سرخوشه جدید، بجای سرخوشه‌ای که دچار خطا شده قابلیت اطمینان را افزایش می‌دهند. همچنین با حرکت سینک به سمت گره‌های سرخوشه‌ای که انرژی‌شان در حال کم شدن است و دریافت داده آنها قبل از خاموش شدن‌شان، تأخیر انتقال داده را نسبت به روش NIDOC کاهش می‌دهد.

---

<sup>11</sup>Energy-aware Routing Algorithm



### ۳ روش پیشنهادی

در این مقاله، برای انتخاب سرخوشه‌ها در یک شبکه WSN، از یک الگوریتم جدید تحت عنوان CBFFOF<sup>۱۲</sup> استفاده می‌گردد. پروتکل فوق با بکارگیری ترکیبی از الگوریتم مگس میوه و منطق فازی قادر است با در نظر گرفتن سه پارامتر میزان انرژی باتری، فاصله سرخوشه تا سینک و فاصله سرخوشه تا مرکز خوشه، بهترین گره‌ها را به عنوان سرخوشه انتخاب کرده و مسیرهای بهینه به سینک را معین نماید. الگوریتم بهینه‌سازی مگس میوه روش جدیدی برای یافتن بهینه سراسری و مبتنی بر رفتار غذایی مگس میوه است. مگس میوه نسبت به حشرات دیگر دارای حس بویایی و بینایی قوی تری می‌باشد، این حشره می‌تواند از فاصله ۴۰ کیلومتری بوی میوه را حس کرده و بعد از نزدیک شدن به موقعیت میوه با استفاده از حس بینایی خود و همکاری با سایر مگس‌های میوه موقعیت دقیق میوه را بیابد. در این مقاله، الگوریتم مگس میوه برای محاسبه شدت بو، منطق فازی را بکار می‌گیرد، چرا که در شرایط غیرقطعی و نامشخص شبکه‌های حسگر، استفاده از منطق فازی که یک نگاه فرآیندی به استنتاج با استفاده از قیدها و شرط‌های منعطف دارد، در ترکیب با یک الگوریتم بهینه‌سازی می‌تواند مسئله خوشه بندی شبکه حسگر را سریع و با هزینه پردازش پایین حل نماید.

همچنین، فرضیات زیر جهت انجام فرایند شبیه‌سازی در نظر گرفته می‌شود.

(۱) تعدادی گره حسگر با شناسه‌های منحصر به فرد به صورت تصادفی در محیط شبیه‌سازی پخش می‌شوند.

(۲) هر گره حسگر به عنوان یک مگس میوه در نظر گرفته شده و موقعیت قرارگیری آن توسط بردار  $(x_i, y_i, z_i)$  نمایش داده می‌شود.

(۳) یک جهت تصادفی و مسافتی جهت جستجوی مسیر به سینک، با استفاده از حس بویایی مگس میوه تعریف می‌شود.

(۴) گره سینک به عنوان میوه در نظر گرفته خواهد شد.

فرآیند خوشه بندی شبکه در الگوریتم پیشنهادی بدین صورت انجام می‌پذیرد:

(۱) هر گره حسگر پیغام سلام را برای شناسایی همسایه‌ها تولید و در رنج خود پخش میکند. هر گره همسایه با دریافت پیغام سلام، بسته پاسخ سلام را که شامل موقعیت

<sup>12</sup>Cluster Based Fruit Fly Optimization Fuzzy Algorithm

فیزیکی و شناسه خود است تولید و به گره ارسال کننده پیغام سلام ارسال می‌کند. گره ارسال کننده پیغام سلام با دریافت بسته پاسخ سلام، شناسه و موقعیت گره همسایه را استخراج و در جدول همسایگی خود ثبت می‌کند.

(۲) سپس فرآیند انتخاب سرخوشه آغاز می‌شود. لازم به ذکر است، انتخاب سرخوشه توسط منطق فازی و الگوریتم مگس میوه به طور متمرکز در داخل سینک انجام می‌شود، بدین صورت که گره سینک یک بسته درخواست مسیر را که حاوی شناسه سینک و موقعیت آن است، به تمامی گره‌ها ارسال می‌کند، هر گره با دریافت این بسته شناسه، موقعیت سینک را از بسته استخراج کرده و با محاسبه فاصله خود تا سینک (طبق رابطه (۱))، یک بسته پاسخ به درخواست مسیر که شامل انرژی باقیمانده است ارسال می‌کند. در روش پیشنهادی، یک لیست که شامل شناسه گره‌های سرخوشه است، به عنوان بهترین پاسخ تعریف می‌شود. در آغاز فاز خوشه بندی فرض می‌شود تمام گره‌های حسگر موجود در محیط شبیه سازی دارای شرایط یکسانی برای سرخوشه شدن هستند، بنابراین، شناسه تمام گره‌های حسگر داخل متغیر بهترین پاسخ قرار می‌گیرد.

$$D_i = \sqrt{(x_s - x_i)^2 + (y_s - y_i)^2 + (z_s - z_i)^2} \quad (1)$$

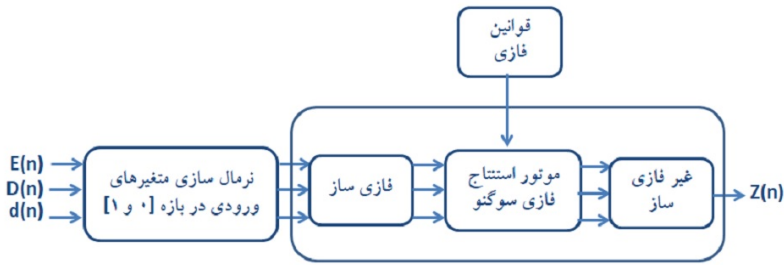
$D_i$  فاصله تا سینک،  $(x_s, y_s, z_s)$  موقعیت سینک و  $(x_i, y_i, z_i)$  موقعیت فیزیکی حسگر  $i$  ام است.

(۳) تا زمانی که شرط خاتمه (چهارصد دور اجرای الگوریتم) محقق نشده مراحل (۱-۳)-(۳-۳) تکرار می‌شوند.

(۱-۳) برای تمامی گره‌های حسگر موجود در لیست بهترین پاسخ، شدت بو توسط منطق فازی محاسبه می‌شود، این فرآیند توسط یک کنترل کننده تطبیقی صورت می‌پذیرد.

### ۱.۳ منطق فازی

منطق فازی [۱۴] استفاده شده سعی در مدل سازی تصمیم گیری‌ها دارد و قادر است نتایج دقیقی بر اساس اطلاعات نامشخص و مبهم ارائه دهد. محبوب ترین مدل‌های استنتاج فازی، ممدانی و سوگنو هستند. به طور کلی، هر مدل را می‌توان به عنوان "اگر



شکل ۱: بلوک دیاگرام سیستم منطق فازی

مقدمه سپس نتیجه<sup>۱۳</sup> نشان داد. بخش مقدمه برای همه مدل های فازی یکسان است، اما نتیجه برای هر مدل اشکال متفاوتی دارد. در این مقاله، از مدل فازی سوگنو برای انتخاب سرخوشه های مناسب استفاده شده است. در طراحی مدل فازی، سه متغیر به عنوان ورودی فازی در نظر گرفته می شود: انرژی باقیمانده، فاصله از سینک و فاصله از مرکز خوشه. انرژی باقیمانده (اولین ورودی) مهمترین متغیری است که مستقیماً بر طول عمر شبکه تأثیر می گذارد. اگر گره ای با انرژی باقیمانده کم، تصمیم بگیرد که به سرخوشه تبدیل شود، به سرعت از بین می رود. هر چه انرژی باقیمانده بیشتر باشد، گره اولویت بالاتری برای سرخوشه شدن دارد. فاصله بین سرخوشه و سینک (ورودی دوم) انرژی مصرفی سرخوشه را تعیین می کند. فاصله بین سرخوشه و مرکز خوشه (ورودی سوم) نیز مهم است، زیرا هرچه فاصله از مرکز خوشه کمتر باشد، مجموع فواصل درون خوشه ای کوچکتر خواهد بود. به بیان دیگر؛ متغیرهای ورودی فازی به منظور اجتناب از انتخاب گره های کم انرژی (ورودی اول)، به حداقل رساندن کل انرژی مصرفی گره های سرخوشه (ورودی دوم) و به حداقل رساندن کل انرژی مصرفی گره های غیر سرخوشه (ورودی سوم) در نظر گرفته می شوند. یک قانون فازی سوگنو با سه ورودی  $x_1$ ،  $x_2$  و  $x_3$  و یک خروجی  $y$  را می توان به صورت «اگر  $x_1 = a$  و  $x_2 = b$  و  $x_3 = c$  آنگاه  $y = f$ » نشان داد که در آن  $a$ ،  $b$  و  $c$  تابع عضویت ورودی ها و  $y$  مقدار شدت بویا خروجی هستند. عملکرد سیستم فازی جهت محاسبه پارامتر برآزندگی شامل ۴ بخش است (مطابق شکل ۱): نرمال سازی، فازی سازی<sup>۱۳</sup>، موتور استنتاج فازی سوگنو، و غیرفازی سازی. هم چنین، همانطور که ذکر شد، سه متغیر ورودی، انرژی باقیمانده:

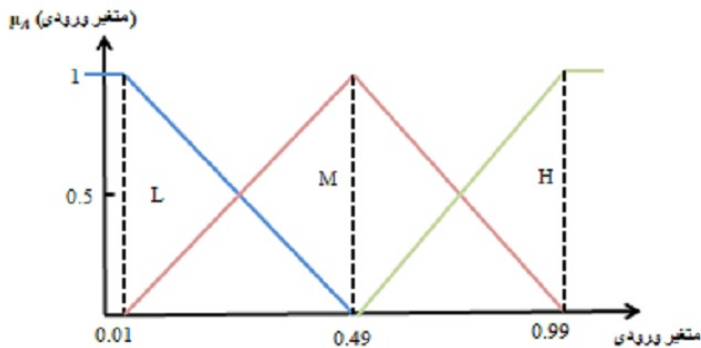
<sup>13</sup>Fuzzification

بهبود مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به کمک منطق فازی \_\_\_\_\_ ۲۰۶

$E(n)$ ، فاصله از سینک:  $D(n)$  و فاصله از مرکز خوشه:  $d(n)$  برای هر گره  $n$  در نظر گرفته می‌شود. هدف روش پیشنهادی محاسبه ضریب تاثیر گره  $n$  به عنوان یک سرخوشه ( $Z(n)$ ) بر اساس سه متغیر ورودی است. با توجه به وجود دامنه‌های مختلف برای هر متغیر در هر خوشه، باید متغیرهای ورودی مطابق رابطه ۲ بین ۰ و ۱ نرمال شوند.

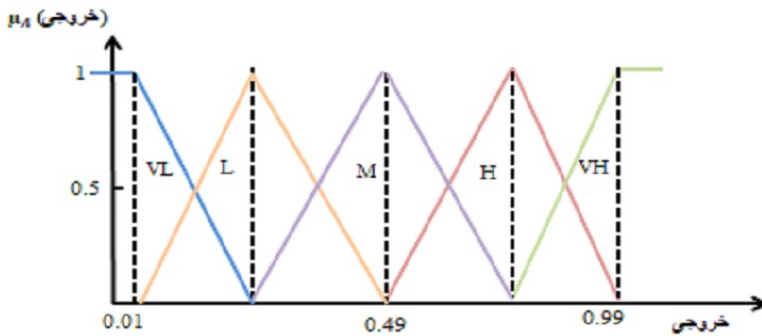
$$\text{Normalized } (X_i) = \frac{X_i - \text{Min}(X)}{\text{Max}(X) - \text{Min}(X)} \quad (2)$$

بطوری که  $X_i$  مقدار متغیر ورودی  $X$  برای گره  $i$  است. همچنین  $\min(x)$  و  $\max(x)$  بیانگر حداقل و حداکثر مقدار متغیر در بین تمام گره‌های درون خوشه گره  $i$  هستند.



شکل ۲: توابع عضویت برای متغیرهای ورودی

فازی ساز با استفاده از توابع عضویت، ورودی‌های نرمال شده را به متغیرهای فازی زبانی تبدیل می‌کند. توابع عضویت برای متغیرهای ورودی در شکل ۲ نمایش داده شده است. مجموعه‌های فازی استفاده شده برای فازی سازی هر متغیر ورودی را به سه تابع عضویت کم، زیاد و متوسط تقسیم می‌کند. در این فاز، مجموعه‌های فازی برای متغیرهای ورودی که شامل فاصله هر گره حسگر (مگس میوه) تا سینک (میوه)، فاصله تا مرکز خوشه و انرژی سطح باتری گره حسگر و خروجی فازی که شامل شدت بو (بیانگر احتمال سرخوشه شدن) است تعریف می‌شوند. توابع عضویت برای خروجی در شکل ۳ نمایش داده شده است. پس از فازی سازی، موتور استنتاج فازی سوگنو قوانین فازی از پیش تعیین شده را پردازش می‌کند.



شکل ۳: توابع عضویت برای متغیر خروجی

در مرحله استنتاج، شدت بو با استفاده از قواعد فازی<sup>۱۴</sup> و با توجه به مقدار پارامترهای در نظر گرفته شده محاسبه می شود. هر قاعده فازی شامل دو قسمت است: یک قسمت مقدمه به صورت "اگر فاصله تا سینک کم، فاصله تا مرکز خوشه زیاد و انرژی باتری نیز کم شود" و یک قسمت نتیجه به صورت "آنگاه شدت بو کاهش می یابد". برای هر یک از پارامترهای ورودی سه مجموعه فازی تعریف شده است که به بیست و هفت قاعده فازی منتهی خواهد شد، این قواعد در جدول ۱ تعریف شده اند.

سیس، خروجی فازی برای هر قانون فعال شده محاسبه می شود. در نهایت غیرفازی ساز خروجی های فازی را تجمیع کرده و به یک مقدار واحد  $Z(n)$  یا شدت بو تبدیل می نماید.

غیر فازی ساز: برای ترجمه خروجی فازی به مقدار عددی، از غیر فازی ساز استفاده می شود. در این مقاله از غیر فازی ساز میانگین مراکز استفاده شده است که با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می شود.

$$Smell_i = \frac{\sum_{l=1}^m y^{-l} \prod_{i=1}^n \mu A_i^l(X_i)}{\sum_{l=1}^m \prod_{i=1}^n \mu A_i^l(X_i)} \quad (3)$$

که پارامترهای این رابطه عبارتند از  $i$ : اندیس گره،  $m$ : تعداد قواعد فازی (در اینجا ۲۷ میباشد)  $n$ : تعداد توابع عضویت متغیرهای ورودی (در اینجا برابر ۳ میباشد)،  $\mu A_i^l(X_i)$ : مقدار فازی توابع عضویت و  $y^{-1}$  نیز مراکز خروجی می باشد.

<sup>14</sup>Fuzzy Rule

جدول ۱. پایگاه قواعد فازی

شماره	ورودی			خروجی
	انرژی سطح باتری	فاصله تا مرکز خوشه	فاصله تا سینک	شدت بو (احتمال سرخوشه شدن)
۱	کم	کم	کم	کم
۲	کم	کم	متوسط	کم
۳	کم	کم	زیاد	خیلی کم
۴	کم	متوسط	کم	کم
۵	کم	متوسط	متوسط	خیلی کم
۶	کم	متوسط	زیاد	خیلی کم
۷	کم	زیاد	کم	کم
۸	کم	زیاد	متوسط	خیلی کم
۹	کم	زیاد	زیاد	خیلی کم
۱۰	متوسط	کم	کم	زیاد
۱۱	متوسط	کم	متوسط	زیاد
۱۲	متوسط	کم	زیاد	کم
۱۳	متوسط	متوسط	کم	زیاد
۱۴	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد
۱۵	متوسط	متوسط	زیاد	کم
۱۶	متوسط	زیاد	کم	متوسط
۱۷	متوسط	زیاد	متوسط	کم
۱۸	متوسط	زیاد	زیاد	کم
۱۹	زیاد	کم	کم	خیلی زیاد
۲۰	زیاد	کم	متوسط	خیلی زیاد
۲۱	زیاد	کم	زیاد	زیاد
۲۲	زیاد	متوسط	کم	خیلی زیاد
۲۳	زیاد	متوسط	متوسط	زیاد
۲۴	زیاد	متوسط	زیاد	متوسط
۲۵	زیاد	زیاد	کم	زیاد
۲۶	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط
۲۷	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط

۲-۳) بهترین پاسخ که شدت بوی بالاتری دارد توسط سیستم فازی تعیین می شود، در واقع گرهی که فاصله تا سینک کم، فاصله تا مرکز خوشه کم و انرژی بیشتری داشته

باشد، با احتمال بالاتری کاندیدای سرخوشه شدن خواهد بود و شناسه آن در لیست بهترین پاسخ ها درج می شود. برای این منظور گره های حسگر را بر حسب برازندگی یا همان شدت بو که توسط سیستم فازی محاسبه شده مرتب و به تعداد سرخوشه ها، شناسه گره هایی که برازندگی بالاتری دارند را در لیست بهترین پاسخ درج و متعاقباً لیست بروزرسانی می شود.

۳-۳) سینک در دور چهارصدم گره های حسگر با برازندگی بالا (شدت بو بالا) را داخل متغیر بهترین پاسخ قرار داده و به آنها پیغام اعلان آگهی سرخوشه شدن را ارسال می کند.

۴) گره های سرخوشه (جدید)، پیغام اعلان سرخوشه شدن را در رنج خود پخش می کنند.

۵) گره های همسایه که این پیغام را دریافت نمودند در صورتی که خود سرخوشه نباشند بر حسب فاصله به نزدیک ترین سرخوشه پیغام اتصال را که حاوی شناسه و مقدار انرژی باقیمانده شان است می فرستند و بدین ترتیب خوشه ها شکل می گیرد.

۶) گره سرخوشه تایمیری را جهت تعیین زمان ارسال داده به سینک، برای گره های عضو خوشه خود تنظیم می کند و در قالب پیغام پاسخ به گره های عضو خوشه می فرستد.

۷) گره های عضو خوشه اقدام به ارسال داده به سرخوشه می کنند.

۸) اگر انرژی یک سرخوشه تمام شود، به منظور جایگزینی این سرخوشه الگوریتم از ابتدا اجرا خواهد شد.

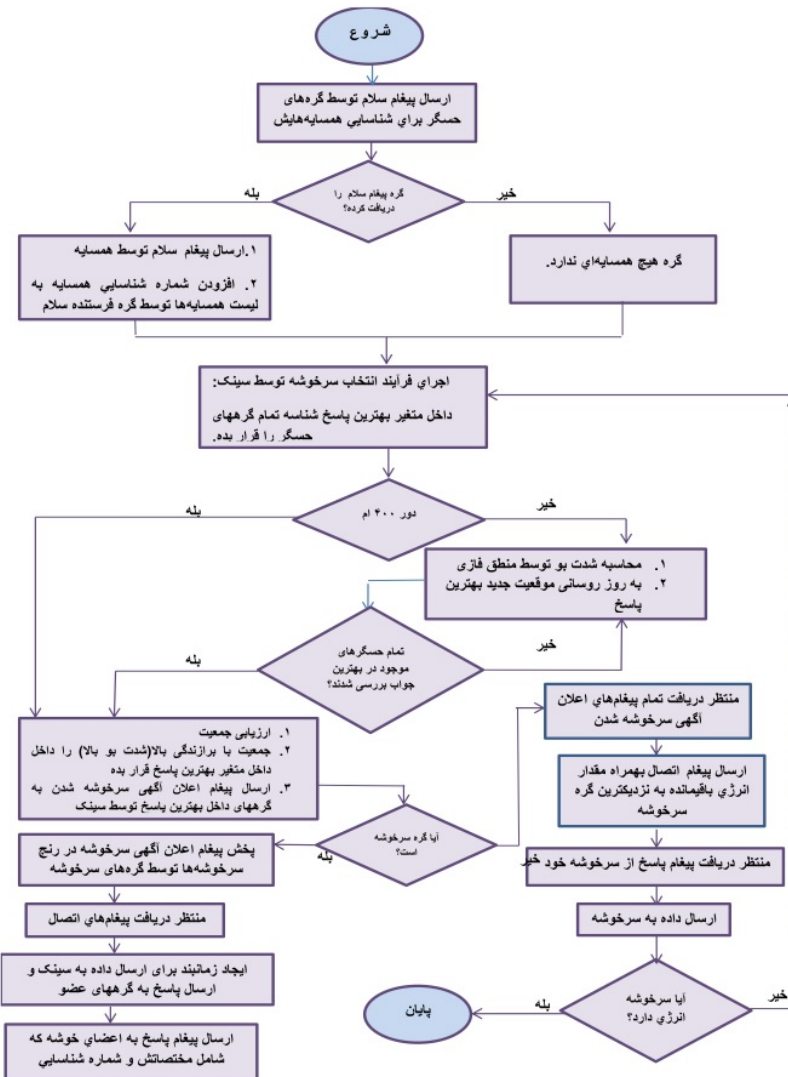
فلوچارت روش پیشنهادی در شکل ۴ نمایش داده شده است.

## ۴ نتایج شبیه سازی

### ۱.۴ محیط شبیه سازی

در این مقاله برای شبیه سازی روش پیشنهادی و مقایسه آن با پروتکل AFSRP از نرم افزار <sup>۱۵</sup>OpnetModeler استفاده شده است. لازم به ذکر است در این مقاله، جهت بررسی تاثیرات کاربرد سیستم فازی جهت هوشمندتر کردن یک الگوریتم خوشه بندی، دو

<sup>15</sup>Optimized Network Engineering Tool



شکل ۴: فلوچارت روش پیشنهادی

الگوریتم مگس میوه (الگوریتم پایه) و AFSRP جهت مقایسه و شبیه سازی انتخاب شده اند. این انتخاب از آنجا نشأت می‌گیرد که دو الگوریتم، کلیت ساختاری مشابهی داشته و هیچ کدام برتری قابل توجهی بر یکدیگر ندارند. جدول (۲) پارامترهای شبیه سازی بکار گرفته شده توسط شبیه ساز را نشان می‌دهد. همان گونه که مطرح شد، در یک سناریو گره‌ها بر اساس پروتکل AFSRP (یک پروتکل خوشه بندی مبتنی بر الگوریتم ازدحام ماهی



در شبکه های حسگر بی سیم) در محیط پراکنده شده اند و در سناریو دوم (پیشنهادی) گره ها بصورت تصادفی در محیط پخش شده و توسط CBFFOF (الگوریتم خوشه بندی مبتنی بر الگوریتم مگس میوه و منطق فازی) مسیریابی می شوند. در ادامه به نتایج شبیه سازی پروتکل پیشنهادی بر اساس سناریوها می پردازیم. لازم به ذکر است، در هر دو سناریو توپولوژی شبکه به صورت ۵۰ گره در نظر گرفته شده است (مطابق با شکل ۵).

جدول ۲: پارامترهای شبیه سازی بکارگرفته شده در پروتکل پیشنهادی

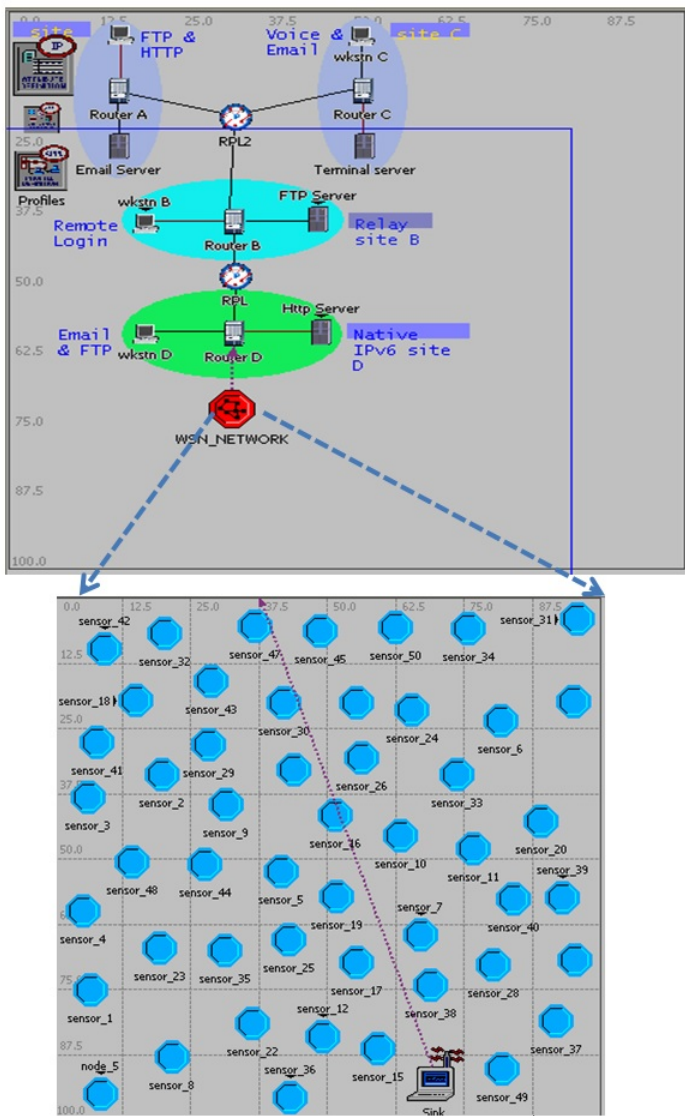
مشخصات محیط شبیه سازی	مقادیر
تعداد گره های سیار	۵۰
مدت زمان شبیه سازی	۲۰۰ ثانیه
فضای شبیه سازی شده	۱۰۰۰×۱۰۰۰ مترمربع
شعاع انتقال هر یک از گره ها	۲۵۰ متر
اندازه هر بسته داده	۱۰۲۴ بایت
نرخ ارسال بسته در شبکه	۳۰ بسته در هر ثانیه
مدل انتشاری	فضای آزاد
پروتکل دسترسی به واسط	IEEE۸۰۲.۱۱

## ۲.۴ معیارهای بررسی کارایی

به منظور بررسی کارایی روش پیشنهادی از معیارهای زیر استفاده می شود.

### ۱.۲.۴ تأخیر انتها به انتها

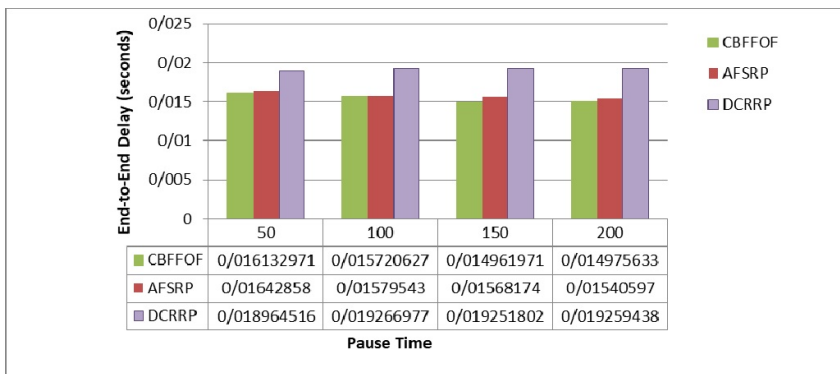
میانگین زمان تحویل بسته از مبدا به مقصد، میانگین تأخیر انتها به انتها نامیده می شود. شکل (۶) به مقایسه تأخیر انتها به انتها برای سناریوهای مطرح شده می پردازد. محور عمودی تأخیر انتها به انتها و محور افقی زمان شبیه سازی است. همانگونه که مشاهده می شود، با بکارگیری پروتکل پیشنهادی، نرخ تأخیر انتها به انتها برای توپولوژی شبکه با ۵۰ گره به میزان ۲/۴۰ درصد نسبت به سناریوی پروتکل AFSRP و به میزان ۱۹/۴۸ درصد نسبت به سناریوی پروتکل DCRRP بهبود یافته است. در پروتکل AFSRP، به دلیل عدم پایداری لینک و در نتیجه انتخاب گره های نامناسب بعنوان سرخوشه عمل انتقال اطلاعات تکمیل نمی شود، لذا تأخیر انتها به انتها افزایش می یابد، در حالی که در



شکل ۵: توپولوژی شبکه با تعداد ۵۰ گره حسگر

پروتکل پیشنهادی به دلیل استفاده از الگوریتم مگس میوه و سیستم کنترل فازی مسیره‌ها با پایداری بالاتری (انتخاب سرخوشه‌های مناسب بر حسب سه پارامتر) در قیاس با پروتکل AFSRP انتخاب می‌شوند که کاهش تأخیر انتها به انتها را در شبکه‌ها همراه خواهد داشت. در پروتکل DCRRP با وجود اینکه در عمل خوشه بندی، سرخوشه‌ها از بین گره‌ها با انرژی بیشتر و فاصله کمتر به سینک متحرک انتخاب می‌شوند و اعضاء

خوشه نیز بر حسب فاصله به سرخوشه می پیوندند ولی به دلیل تحرک سینک، ممکن است سینک برای جمع آوری داده در یک منطقه دیگر حضور داشته باشد و گره حسگر حاوی اطلاعات مجبور به ارسال داده به گره جایگزین سینک در فاصله دورتر بشود؛ در نتیجه حین عمل انتقال اطلاعات به دلیل خاموش شدن گره های میانی مسیر نامعتبر شده و اطلاعات ارسالی از بین برود. لذا تاخیر انتها به انتها در پروتکل DCRRP افزایش می یابد. لازم به ذکر است که در کاربردهای بلادرنگ و حساس (از قبیل نظارت بر سیستم ایمنی کارخانه ها)، پارامتر تاخیر از اهمیت بالایی برخوردار می باشد، زیرا که تاخیر بالا موجب کاهش سرعت پاسخگویی و در نتیجه عملکرد چنین سیستم هایی می گردد. درحالت کلی، پارامتر تاخیر به نرخ تولید داده و بار ترافیکی وابستگی شدیدی دارد، بطوری که، افزایش نرخ داده حس شده توسط حسگرها، افزایش تاخیر را به همراه خواهد داشت؛ این مساله از آنجا نشأت می گیرد که با افزایش داده دریافتی توسط حسگرهای شبکه، احتمال وجود ازدحام و اغتشاش نیز بالا می رود که به تاخیر در ارسال داده های کد گذاری شده می انجامد. از نکات مطرح شده می توان دریافت که تعداد گره ها (میزان داده های حس شده) در یک شبکه حسگر، رابطه مستقیمی با میزان تاخیر در شبکه دارد.

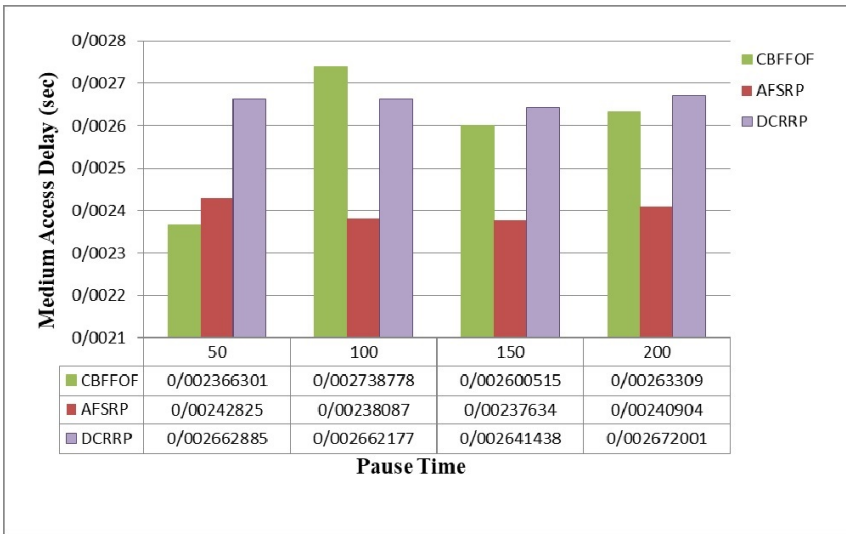


شکل ۶: تأخیر انتها به انتها

#### ۲.۲.۴ تاخیر دسترسی به رسانه

برابر مدت زمان بین دریافت بسته توسط لایه MAC تا زمان بارگیری کامل بسته بر روی رسانه تعریف می شود. شکل (۷) به مقایسه تأخیر دسترسی به رسانه برای سناریوهای پیشنهادی می پردازد. همانگونه که مشاهده می شود، در پروتکل AFSRP نرخ تاخیر

دسترسی به رسانه برای توپولوژی شبکه با ۵۰ گره به میزان ۷/۰۱ درصد نسبت به سناریو پروتکل پیشنهادی بهتر بوده است. همچنین نرخ تأخیر دسترسی به رسانه در پروتکل پیشنهادی نسبت به پروتکل DCRRP به میزان ۲/۸۱ درصد بهبود یافته است. این مساله از آنجا نشأت می‌گیرد که در شبکه حسگر بی‌سیم زیرلایه MAC مکانیسم‌های آدرس‌دهی و کنترل دسترسی کانال را فراهم می‌کند که به گره‌های حسگر اجازه می‌دهد در شبکه‌ای که دارای یک رسانه مشترک است، ارتباط برقرار کنند. برای انجام این کار، MAC با استفاده از یک پروتکل دسترسی به کانال، تعیین می‌کند که یک گره حسگر چه زمانی می‌تواند رسانه را در اختیار بگیرد و داده خود را ارسال کند یا در حال گوش کردن به رسانه باشد. به طور معمول، بسته به نوع پیوند فیزیکی، کانال خدمات ارتباطی تک‌پخشی، چندپخشی (برای پیوندهای سیمی) یا همه‌پخشی (یعنی برای پیوندهای بی‌سیم) را فراهم می‌کند. هنگام در نظر گرفتن پیوندهای بی‌سیم، نیاز به یک گره هماهنگ‌کننده برای جلوگیری از تداخل برخورد (انتقال همزمان روی رسانه) که منجر به پارازیت سیگنال می‌شود ضروری است. در پروتکل AFSRP، به منظور دسترسی سریع به رسانه، گره‌های حسگرها به طور مداوم به کانال گوش می‌دهند، تا در صورت آزاد بودن کانال سریع رسانه را برای ارسال داده در اختیار بگیرند که این امر موجب کاهش تأخیر دسترسی به کانال شده و به سرعت منابع انرژی حسگرها را مصرف می‌کند. در صورتی که در روش پیشنهادی دسترسی به رسانه به صورت تصادفی می‌باشد که در آن انتقال‌ها به صورت محلی و مستقل در هر گره سرخوشه تصمیم‌گیری می‌شوند که این امر تأخیر دسترسی به رسانه را در روش پیشنهادی افزایش می‌دهد ولی حسگرها به دلیل اینکه مداوم به رسانه گوش نمی‌دهند انرژی بیشتری را صرف نمی‌کنند. لازم به ذکر است در پروتکل DCRRP تأخیر دسترسی به رسانه، هنگام حضور سینک در محلی دیگر و نیاز به ارسال داده توسط حسگر به گره جایگزین سینک (که ممکن است در فاصله دورتری از گره‌های ارسال‌کننده واقع گردد)، به دلیل از دست رفتن داده در اثر اتمام باتری گره‌های حسگر و تکمیل نشدن فرآیند انتقال اطلاعات به گره سینک و تلاش برای دسترسی مجدد به رسانه برای ارسال داده افزایش یابد. لازم به ذکر است با افزایش تعداد گره‌های حسگر، میزان داده‌ها در سطح شبکه و متعاقباً زمان بین دریافت بسته‌ها توسط لایه MAC افزایش می‌یابد که به تأخیر بالاتر در دسترسی به رسانه منتهی خواهد شد.

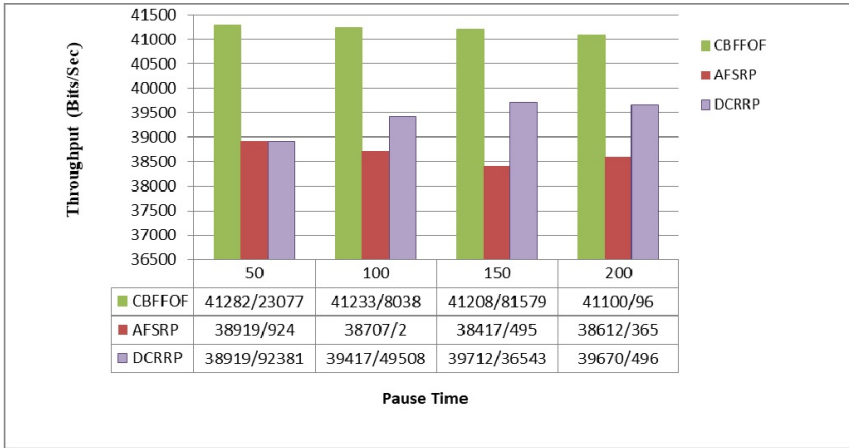


شکل ۷: تأخیر دسترسی به رسانه

### ۳.۲.۴ نرخ گذردهی

به عنوان کل بسته های دریافت شده توسط گیرنده ها، تقسیم بر زمان بین دریافت اولین بسته و آخرین بسته تعریف می شود. نرخ گذردهی سناریو های مطرح شده را می توان در شکل (۸) مشاهده کرد. محور افقی زمان شبیه سازی و محور عمودی نرخ گذردهی می باشد. همانگونه که مشاهده می شود با بکارگیری پروتکل پیشنهادی، نرخ گذردهی برای توپولوژی شبکه با ۵۰ گره به میزان ۶/۱۶ درصد نسبت به سناریو پروتکل AFSRP و همچنین به میزان ۴/۳۱ درصد نسبت به سناریو پروتکل DCRRP بالاتر است. این مساله را می توان ناشی از هوشمندتر بودن پروتکل پیشنهادی در انتخاب مسیر دانست، زیرا این پروتکل با بکارگیری الگوریتم مگس میوه و منطق فازی گره های مناسب را به عنوان سرخوشه تعیین کرده و داده را از طریق سرخوشه های مناسب ارسال می کند که موجبات بهبود نرخ گذردهی را فراهم می آورد. پایین تر بودن نرخ گذردهی در پروتکل AFSRP نسبت به روش پیشنهادی به دلیل ایجاد ازدحام و خاموش شدن احتمالی گره است. همچنین در پروتکل DCRRP به دلیل استفاده از سینک متحرک و ارسال داده از طریق سرخوشه های با فاصله کمتر به سینک نرخ گذردهی نسبت به AFSRP افزایش می یابد. بطور کلی، تعداد گره های حسگر و نرخ گذردهی با یکدیگر رابطه عکس دارند، چرا که با

افزایش تعداد گره‌های حسگر، میزان داده‌ها در سطح شبکه افزایش یافته و احتمال وجود ازدحام و ایجاد اغتشاش را بالا می‌برد که به کاهش نرخ گذردهی منتهی می‌شود.

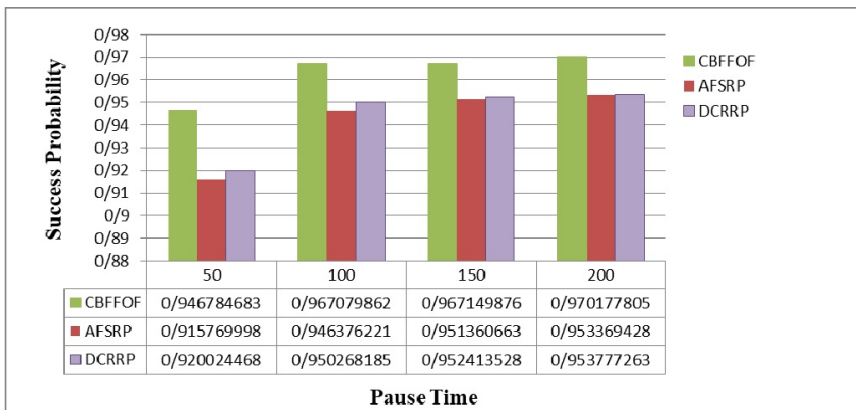


شکل ۸: نرخ گذردهی

#### ۴.۲.۴ نرخ تحویل با موفقیت بسته‌های داده

تحت عنوان تعداد کل بسته‌های داده که سالم از سمت حسگر فرستنده به سمت سینک ارسال شده و در سینک دریافت می‌شود شناخته می‌شود. شکل (۹) نرخ تحویل موفقیت آمیز بسته‌های داده را در سناریوهای طرح شده نشان می‌دهد. محور افقی زمان شبیه‌سازی و محور عمودی نرخ تحویل بسته‌های داده را معین می‌کند. همانگونه که مشاهده می‌شود، با بکارگیری پروتکل پیشنهادی، نرخ تحویل با موفقیت بسته‌های داده برای توپولوژی شبکه با ۵۰ گره به میزان ۲/۱۸ درصد نسبت به سناریو پروتکل AFSRP و همچنین به میزان ۱/۹۳ درصد نسبت به سناریو پروتکل DCRRP بهبود یافته است. عدم دسترسی به یک مسیر به سمت مقصد یکی از مهم‌ترین دلایل از دست دادن بسته‌های داده در شبکه می‌باشد، اما در روش پیشنهادی، کاربرد همزمان الگوریتم مگس میوه و منطق فازی موجب می‌شود، در فاز انتقال داده، مسیرهایی به سمت مقصد انتخاب شوند که حداقل تا پایان فاز فوق پایدار باشند این مساله سبب کاهش تعداد از دست دادن داده‌ها شده و درصد تحویل داده را افزایش خواهد داد. در پروتکل AFSRP برخی از گره‌های شبکه ممکن است به دلیل اتمام باتری خاموش شود و عمل انتقال اطلاعات به گره

سینک تکمیل نگردد لذا درصد موفقیت ارسال داده کاهش می یابد. همچنین در پروتکل DCRRP به دلیل استفاده از سینک متحرک و حرکت سینک به محل گره سرخوشه ای که باتری کمتری دارد موجب می شود قبل از خاموش شدن سرخوشه، داده ها جمع آوری شود لذا نرخ تحویل با موفقیت بسته داده نسبت به AFSRP افزایش می یابد. با افزایش تعداد گره های حسگر، انتظار می رود نرخ تحویل با موفقیت بسته های داده در شبکه به دلیل افزایش نرخ ازدحام، اغتشاش و همچنین افزایش میزان تاخیر، کاهش یابد.

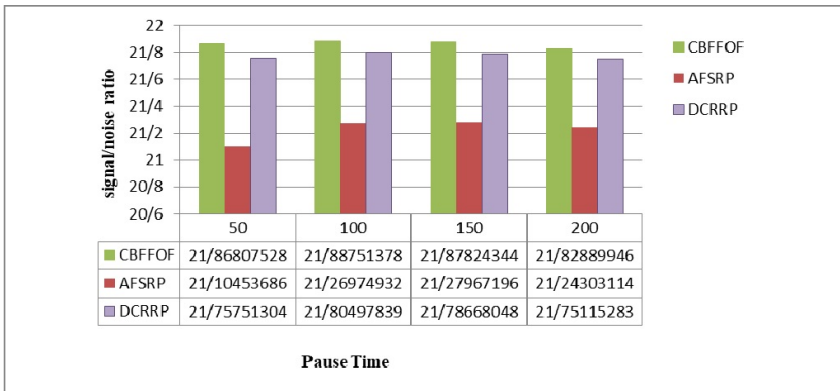


شکل ۹: نرخ تحویل با موفقیت بسته های داده

#### ۵.۲.۴ نسبت سیگنال به نویز

میزان قدرت نویز تحمیل شده به یک سیگنال در مقابل قدرت خود سیگنال را نشان می دهد. نسبت سیگنال به نویز در ساختارهای شبیه سازی شده در شکل (۱۰) نشان داده شده است. با بکارگیری پروتکل پیشنهادی، نسبت سیگنال به نویز به میزان ۲/۹۳ درصد نسبت به سناریو پروتکل AFSRP و همچنین به میزان ۰/۴۱ درصد نسبت به سناریو پروتکل DCRRP عملکرد بهتری دارد. همانگونه که مشاهده می شود، پروتکل AFSRP نسبت به روش پیشنهادی نسبت سیگنال به نویز کمتری دارد، زیرا ممکن است در پروتکل AFSRP حین ارسال داده تعداد بیت هایی که دچار خطا شده اند (به دلیل خاموش شدن احتمالی سرخوشه ها در اثر کاهش انرژی باتری) زیاد شده و نسبت سیگنال به نویز کاهش یابد. در روش پیشنهادی به دلیل انتخاب گره های مناسب به عنوان

سرخوشه توسط الگوریتم مگس میوه و منطق فازی، احتمال وقوع اغتشاش کاهش می‌یابد که افزایش نسبت سیگنال به نویز را به دنبال خواهد داشت. همچنین ممکن است در پروتکل DCRRP موقع ارسال اطلاعات، تعداد بیت‌هایی که دچار خطا شده‌اند زیاد شده و نسبت سیگنال به نویز نسبت به روش پیشنهادی کاهش یابد. انتظار می‌رود با افزایش تعداد گره‌های حسگر، نسبت سیگنال به نویز، بدلیل حجم بالای داده و احتمال بالای رخداد اغتشاش و از دست رفتن داده‌ها، کاهش یابد.



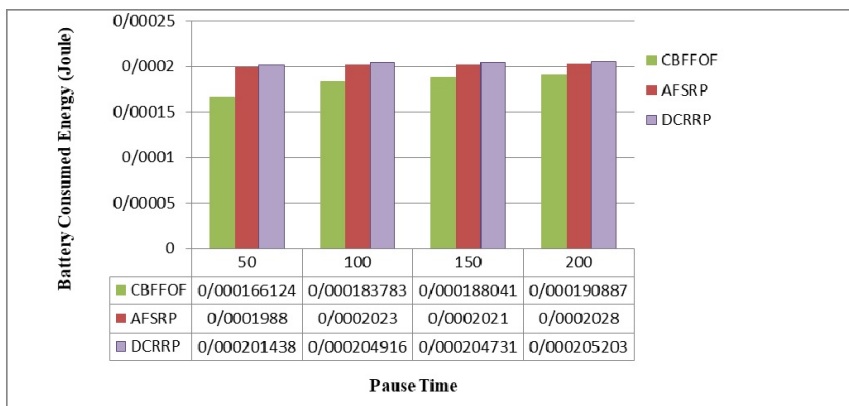
شکل ۱۰: نسبت سیگنال به نویز

#### ۶.۲.۴ میانگین انرژی مصرفی باتری گره‌های شبکه

این پارامتر برابر مجموع انرژی مصرف شده توسط گره‌های درون شبکه برای ارتباطات که شامل انتقال و انتظار می‌باشد. شکل (۱۱) به مقایسه میانگین انرژی مصرفی باتری برای سناریوهای مطرح شده می‌پردازد. همانگونه که مشاهده می‌شود، با بکارگیری پروتکل پیشنهادی، میانگین انرژی مصرفی باتری برای توپولوژی شبکه با ۵۰ گره به میزان ۹/۵۷ درصد نسبت به سناریوی پروتکل AFSRP و همچنین به میزان ۱۰/۷۱ درصد نسبت به سناریوی پروتکل DCRRP بهبود یافته است. در پروتکل AFSRP در انتخاب سرخوشه گره‌ای که فاصله کمتر تا سینک دارد و انرژی باقیمانده اش کمتر از حد آستانه نباشد سرخوشه می‌شود. اگر گره‌ای با این ویژگی موجود نبود، این الگوریتم، خوشه بندی مجدد را انجام نمی‌دهد. لذا ممکن است سرخوشه‌های انتخابی در دوره‌های بعدی انرژی کمتری داشته باشند و انرژی خود را سریع از دست بدهند که این مساله بهم ریختگی



توپولوژی شبکه را به دنبال خواهد داشت. همچنین در این پروتکل گره های سرخوشه اطلاعات داده جمع آوری شده را مستقیماً به گره سینک ارسال می کنند، در نتیجه، گره هایی که فاصله زیاد با سینک دارند انرژی بیشتری جهت ارسال داده صرف خواهند نمود. در حالی که در پروتکل پیشنهادی با استفاده از خوشه بندی و ردیابی سینک توسط الگوریتم مگس میوه و منطق فازی، گرهی به عنوان سرخوشه استفاده می شود که انرژی بیشتر، فاصله تا سینک و فاصله تا مرکز خوشه کمتری را داشته باشد. همچنین گره های عضو نیز با توجه به فاصله شان به گره سرخوشه می پیوندند، لذا برای ارسال داده از گره عضو به سرخوشه نیز نیازی نیست انرژی زیادی صرف شود. همچنین در پروتکل DCRRP گره های سرخوشه اطلاعات داده جمع آوری شده را مستقیماً به گره سینک ارسال می کنند و گره هایی که فاصله زیاد با سینک دارند در صورت داشتن داده زیاد به سینک اطلاع می دهند تا به سمت ناحیه پرتراکم حرکت کند. سینک با حرکت به سمت ناحیه پرتراکم، گرهی را جایگزین خود انتخاب می کند تا بتواند داده ارسالی سایر سرخوشه ها را جمع آوری کند. اگر سرخوشه ای بعد از حرکت سینک داده برای ارسال داشته باشد و فاصله اش با گره جایگزین سینک زیاد باشد به دلیل مصرف انرژی بالا (در اینگونه از سرخوشه ها) انرژی خود را سریع از دست داده و توپولوژی شبکه را بهم می ریزد. همچنین با افزایش تعداد گره های حسگر، تعداد بسته های داده ارسال شده افزایش می یابد که افزایش مصرف انرژی را به دنبال خواهد داشت.



شکل ۱۱: انرژی مصرفی

## ۵ نتیجه‌گیری

در این مقاله، مصرف انرژی به عنوان یکی از چالش برانگیزترین مشکلات موجود در شبکه های WSN، مورد مطالعه قرار گرفت. در راستای بهبود مصرف انرژی، پروتکل CBFEOF که ترکیبی از الگوریتم مگس میوه و منطق فازی است پیشنهاد شد. نتایج حاصل از شبیه سازی پروتکل پیشنهادی در OPNET، با پروتکل مسیریابی AFSRP و پروتکل DCRRP مقایسه شد. نمودارهای نتایج شبیه سازی، نظیر انرژی مصرفی، نسبت سیگنال به نویز، تأخیر انتها به انتها، تأخیر دسترسی چند رسانه ای، نرخ تحویل با موفقیت بسته های داده و نرخ گذردهی به منظور بررسی چگونگی عملکرد روش پیشنهادی استخراج شدند. به طور کلی مشاهده شد که پروتکل پیشنهادی، رفتار بهتری نسبت به AFSRP و پروتکل DCRRP نشان می دهد. پروتکل مسیریابی پیشنهادی به دلیل انتخاب گره های مناسب به عنوان سرخوشه، مسیرهای پایدارتر را جهت ارسال داده انتخاب می کند و کارایی کلی شبکه را بهبود می بخشد. این مسئله قابلیت اطمینان تحویل بسته را افزایش داده و به گسترش پروتکل پیشنهادی نسبت به پروتکل AFSRP منتهی می شود.

## مراجع

- [1] Mali, G. U., Gautam, D. K. (2018). Shortest path evaluation in wireless network using fuzzy logic. *Wireless Personal Communications*, 100(4), 1393-1404.
- [2] Kiran, M. P. R. S., Prasad, Y. R. V., Rajalakshmi, P. (2018). Modeling and analysis of IEEE 802.15. 4 multi-hop networks for IoT applications. *Wireless Personal Communications*, 100(2), 429-448.
- [3] Kumar, A., Webber, J. L., Haq, M. A., Gola, K. K., Singh, P., Karupusamy, S., Alazzam, M. B. (2022). Optimal cluster head selection for energy efficient wireless sensor network using hybrid competitive swarm optimization and harmony search algorithm. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102243.

- [4] Ding, X. X., Liu, Y. N., Yang, L. Y. (2021). An Optimized Cluster Structure Routing Method Based on LEACH in Wireless Sensor Networks. *Wireless Personal Communications*, 121(4), 2719-2733.
- [5] Kotary, D. K., Nanda, S. J. (2021). A Distributed Neighbourhood DBSCAN Algorithm for Effective Data Clustering in Wireless Sensor Networks. *Wireless Personal Communications*, 121(4), 2545-2568.
- [6] Senthil, G. A., Raaza, A., Kumar, N. (2022). Internet of Things Energy Efficient Cluster-Based Routing Using Hybrid Particle Swarm Optimization for Wireless Sensor Network. *Wireless Personal Communications*, 122(3), 2603-2619.
- [7] Tay, M., Senturk, A. (2022). A New Energy-Aware Cluster Head Selection Algorithm for Wireless Sensor Networks. *Wireless Personal Communications*, 122(3), 2235-2251.
- [8] Mohanadevi, C., Selvakumar, S. (2021). A qos-aware, hybrid particle swarm optimization-cuckoo search clustering based multipath routing in wireless sensor networks. *Wireless Personal Communications*, 1-17.
- [9] Zhao, M., Chong, P. H. J., Chan, H. C. (2017). An energy-efficient and cluster-parent based RPL with power-level refinement for low-power and lossy networks. *Computer Communications*, 104, 17-33.
- [10] Bouaziz, M., Rachedi, A., Belghith, A. (2017). EKF-MRPL: Advanced mobility support routing protocol for internet of mobile things: Movement prediction approach. *Future Generation Computer Systems*.
- [11] Zhang, W., Han, G., Feng, Y., Lloret, J. (2017). IRPL: An energy efficient routing protocol for wireless sensor networks. *Journal of Systems Architecture*, 75, 35-49.

- [12] Gorgich, S., Tabatabaei, S. (2021). Proposing an energy-aware routing protocol by using fish swarm optimization algorithm in WSN (wireless sensor networks). *Wireless Personal Communications*, 119(3), 1935-1955.
- [13] Tabatabaei, S., Rigi, A. M. (2019). Reliable routing algorithm based on clustering and mobile sink in wireless sensor networks. *Wireless Personal Communications*, 108(4), 2541-2558.
- [14] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.