پروتکل E-Reec به‌منظور بهبود خوشه‌بندی کارآمد انرژی مبتنی بر رتبه‌بندی با چند ایستگاه پایه و زمان‌بندی خواب در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

عاطفه کریمی[1]*، محمدمهدی شیرمحمدی ۲

گروه کامپیوتر، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران [1]atefehkarimi545@gmail.com

گروه کامپیوتر، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران [2]Mmshirmohammadi@gmail.com

چکیده

شبکه‌های حسگر بی‌سیم کاربردهای روزافزونی در بخش‌های مختلف دارند. این شبکه‌ها با چالش‌هایی روبه‌رو هستند که یکی از آنها افزایش طول عمر شبکه برای داشتن زمان عملیاتی بیشتر آنهاست. روش‌های خوشه‌بندی از تکنیک‌های پرکاربردی است که برای افزایش طول عمر این شبکه‌ها استفاده می‌شود. در این مقاله با استفاده از رتبه‌بندی گره‌های حسگر و انتخاب مسیر متناسب با موازنه بار در شبکه به انتخاب سرخوشه مناسب می‌پردازد. علاوه بر این در این پروتکل از چرخه‌های خواب و بیداری پویا برای گره‌های حسگر به‌منظور کاهش مصرف انرژی بدون تأثیر منفی بر عملکرد شبکه استفاده می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده پس از شبیه‌سازی نشان داده است که روش ارائه شده در این مقاله نسبت به روش‌های قبلی طول عمر و پایداری بالاتری را برای شبکه حسگر بی‌سیم به همراه داشته است

کلمات کلیدی: شبکه حسگر بی‌سیم، سرخوشه، الگوریتم خوشه‌بندی، چند ایستگاه پایه، الگوریتم زمان‌بندی

دریافت مقاله: ۲۶/۰۹/۱۴۰۳

پذیرش مقاله: ۱۱/۱۲/۱۴۰۳

۱-مقدمه

باتوجه‌به توسعه و پیشرفت مستمر فناوری ارتباطات بی‌سیم، فناوری شبکه، فناوری ریزپردازنده و فناوری شبکه حسگر، شبکه‌های حسگر بی‌سیم به‌تدریج به یک فناوری جذاب تبدیل شده‌اند که زندگی مردم را تسهیل می‌کند [1. 5]. در حال حاضر شبکه‌های حسگر بی‌سیم به طور گسترده در زمینه‌های مختلف مانند نظارت بر محیط‌زیست، کشاورزی، دفاع نظامی، پزشکی بیولوژیکی و اینترنت اشیا و در این برنامه‌ها، ارتباط بی‌سیم بین گره‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم نقش مهمی ایفا می‌کند[18].

شبکه‌های حسگر بی‌سیم راه جدیدی برای به‌دست‌آوردن اطلاعات از طریق نظارت بلادرنگ بر محیط هستند[2,3]. این شامل تکنیک‌ها و مکانیسم‌هایی مانند انتخاب مسیر و برنامه‌ریزی انتقال برای اطمینان از انتقال کارآمد و دقیق داده‌ها بین گره‌ها است. تحقیق در مورد بهینه‌سازی مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم برای بهبود عملکرد شبکه، افزایش طول عمر شبکه، ارائه انتقال داده‌های قابل‌اعتماد و پشتیبانی از برنامه‌های بلادرنگ از اهمیت بالایی برخوردار است. با اتخاذ الگوریتم‌ها و مکانیسم‌های بهینه‌سازی مسیریابی مؤثر، می‌توان به سیستم‌های شبکه حسگر بی‌سیم قابل‌اعتمادتر، هوشمندتر و کارآمدتر دست‌یافت[19,20]. بهینه‌سازی مسیریابی شبکه حسگر بی‌سیم نقش مهمی ایفا می‌کند، زیرا می‌تواند عملکرد شبکه و راندمان استفاده از انرژی را بهبود بخشد، طول عمر شبکه را افزایش دهد، انتقال داده‌های قابل‌اعتماد را فراهم کند و از برنامه‌های کاربردی

بلادرنگ برای زمینه‌های مختلف کاربردی پشتیبانی کند؛ بنابراین، بهینه‌سازی مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم از اهمیت زیادی برخوردار است [4,6].

شبکه حسگر بی‌سیم می‌تواند یک شبکه همگن یا ناهمگن باشد که شامل مجموعه‌ای از گره‌های حسگر و یک یا چند ایستگاه پایه است. شبکه‌های حسگر بی‌سیم همگن دارای قابلیت‌های مشابه انرژی، حافظه و سایر منابع هستند. اما، ناهمگن گران است و این قابلیت‌ها در تضاد هستند [7,18]. معماری شبکه‌های حسگر اجازه می‌دهد حسگرها به صورت تصادفی در یک منطقه توزیع شوند و پس از تشخیص و کنترل رویدادها را به ایستگاه پایه ارسال کنند [8].

به دلیل محدودیت انرژی، گره‌ها ممکن است نتوانند در مسافت طولانی مستقیم با ایستگاه پایه ارتباط برقرار کنند؛ بنابراین، برای بهبود مقیاس‌پذیری شبکه و کاهش تخلیه انرژی، در این مقاله از رویکرد چند ایستگاه پایه و از مکانیزم خواب‌وبیدار گره‌ها نیز استفاده می‌شود. استفاده از معماری خوشه‌بندی و روش انتخاب رهبر نقش مهمی در جلوگیری از قطع ارتباط در شبکه‌های حسگر بی‌سیم دارد [9]. سنسورهای حسگر بی‌سیم در خوشه‌هایی گروه بندی می‌شوند که در آن هر خوشه شامل یک سرخوشه و مجموعه‌ای از گره‌های عضو در لایه شبکه است [10]. ارتباطات خوشه‌ای یعنی درون و برون خوشه‌ای تعداد گره‌های حسگرهای درگیر در ارتباطات از راه دور را کاهش می‌دهد؛ بنابراین، مصرف انرژی برای کل شبکه را به حداقل می‌رساند. در ارتباطات درون خوشه‌ای، گره‌ها داده‌های حس شده را از طریق چندین گره میانی به سرخوشه‌ها ارسال می‌کنند، در آن سرخوشه‌ها به‌عنوان یک گره هدف در نظر گرفته می‌شود و داده‌ها جمع می‌شوند. در نهایت، سرخوشه داده‌های جمع‌آوری‌شده را از طریق چندین سرخوشه به نزدیک‌ترین ایستگاه پایه منتقل می‌کند، ارتباطات بین خوشه‌ای نامیده می‌شود. راندمان خوشه بر اساس انتخاب سرخوشه است، بنابراین سرخوشه باید با هوشیاری و با روش استاندارد انتخاب شود. چرخش سرخوشه بیشتر در الگوریتم‌های خوشه‌بندی برای متعادل‌کردن تخلیه انرژی به طور یکنواخت رایج است [12، 11]. مدل پیشنهادی در بخش سه با هدف بهینه‌سازی مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه طراحی شده است. این مدل از رتبه‌بندی گره‌ها بر اساس پارامترهایی نظیر انرژی باقی‌مانده، فاصله تا ایستگاه پایه و تعداد گره‌های همسایه استفاده می‌کند. گره‌هایی با بالاترین امتیاز به‌عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند تا بار ترافیکی شبکه به‌طور یکنواخت توزیع شود. همچنین، مکانیزم زمان‌بندی خواب با خاموش کردن گره‌های غیرضروری، مصرف انرژی را کاهش داده و پایداری شبکه را افزایش می‌دهد. این مدل به طور مؤثر به چالش‌های مطرح‌شده در بخش یک پاسخ داده و عملکرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم را بهبود می‌بخشد.

مقاله به این شرح سازماندهی شده است: بخش ۲ کارهای مرتبط با موضوع را بیان و بررسی کرده است و در بخش۳ پروتکل پیشنهادی با ارائه مدل شبکه و مدل انرژی برای شبکه حسگر همگن و روش پروتکل E-Reec بمنظور بهبود خوشه‌بندی کارآمد انرژی مبتنی بر رتبه‌بندی با چند ایستگاه‌پایه و زمانبندی خواب درشبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است، ارزیابی‌ها و نتایج حاصل از شبیه‌سازی در بخش ۴ مورد بحث قرار گرفته است تا با ارائه نمودارهای مقایسه‌ای نشان دهنده بهبود وضعیت کارایی باشد، و در نهایت نتیجه گیری مقاله در بخش ۵ آورده شده است.

۲-کار های مرتبط

این بخش به مطالعه برخی پروتکل‌های خوشه‌بندی برای مسیریابی چند پرشی در سنسورهای حسگر بی‌سیم می‌پردازد. پروتکل‌های مطرح شده در این بخش بیان‌کننده روش‌هایی است که پیش‌ازاین دراین‌رابطه مورداستفاده قرار می‌گرفتند. معایب هر پروتکل را شرح می‌دهد.

به‌عنوان پایه‌ای‌ترین روش ارائه شده دراین‌ارتباط هاینزلمن و همکاران، یک الگوریتم به نام LEACH را برای خوشه‌بندی افزایش طول عمر شبکه از طریق بهره‌وری انرژی پیشنهاد کردند. LEACH یک پروتکل کاملاً توزیع شده و سلسله‌مراتبی است که در آن سرخوشه‌ها به‌صورت تصادفی در مرحله راه‌اندازی انتخاب می‌شوند. LEACH فرض می‌کند که هر گره دارای قدرت رادیویی کافی برای انتقال مستقیم داده‌ها به ایستگاه پایه در فاز حالت پایدار است. معایب این

الگوریتم انتخاب تصادفی سرخوشه‌ها بدون درنظرگرفتن انرژی است [13] .

اشفاق احمد و همکاران، پروتکلی به نام ACH2 را بر اساس تشکیل سرخوشه‌ها دور و مکانیسم‌های ارتباط آزاد برای افزایش دوره پایداری و توان عملیاتی شبکه‌های بیسیم حسگر پیشنهاد کردند. این پروتکل در محیط‌های همگن، ناهمگن، فعال و واکنشی اجرا می‌شود. هر گره یک عدد تصادفی تولید می‌کند، و آن را با مقدار آستانه برای انتخاب سرخوشه‌ها مقایسه می‌کند. انتقال داده‌ها از گره‌های عضو به سرخوشه و از سرخوشه به ایستگاه پایه با استفاده از پروتکل تقسیم زمان‌بندی انجام می‌شود. در ACH2، توان عملیاتی با طرح تخصیص پهنای باند مختلط به حداکثر می‌رسد. بااین‌حال، تخصیص ناهموار بار بر روی سرخوشه‌ها وجود دارد و مسیر ارتباطی خوشه‌ای در این پروتکل طولانی است[14]

پروتکل‌های مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی مورچه‌ها با الهام از رفتار جمعی مورچه‌ها در یافتن کوتاه‌ترین مسیر، برای بهبود فرآیند مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم توسعه یافته‌اند. در این روش، گره‌ها از طریق انتشار فرومون‌های مجازی، مسیرهای بهینه را شناسایی کرده و بسته‌های داده را از طریق کم‌مصرف‌ترین مسیرها منتقل می‌کنند. این رویکرد منجر به کاهش تأخیر، افزایش بازده انرژی و بهبود قابلیت تطبیق‌پذیری در شبکه‌های پویا می‌شود. بااین‌حال، همگرایی آهسته در شبکه‌های بزرگ و نیاز به تنظیم بهینه پارامترهای فرومون از جمله چالش‌های این روش محسوب می‌شود. به‌طورکلی، استفاده از الگوریتم مورچه‌ها در پروتکل‌های مسیریابی، کارایی شبکه را در شرایط متغیر افزایش داده و به توزیع یکنواخت بار ترافیکی کمک می‌کند [15]

پروتکل‌های مسیریابی با سینک‌های متحرک به‌عنوان یک رویکرد مؤثر برای بهبود عملکرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم معرفی شده‌اند. در این پروتکل‌ها، سینک‌ها با حرکت در شبکه، فاصلهٔ بین گره‌ها و سینک را کاهش داده و در نتیجه تأخیر در انتقال داده‌ها و مصرف انرژی را بهینه می‌کنند. این روش از تراکم انرژی در برخی گره‌ها که معمولاً در نزدیکی سینک‌های ثابت رخ می‌دهد، جلوگیری کرده و طول عمر شبکه را افزایش می‌دهد. بااین‌حال، طراحی این پروتکل‌ها با چالش‌هایی نظیر مدیریت زمان‌بندی حرکت سینک، حفظ پایداری مسیرها و جلوگیری از افزایش سربار در مسیریابی همراه است. استفاده از سینک‌های متحرک نه‌تنها باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود، بلکه منجر به توزیع یکنواخت‌تر بار در شبکه نیز می‌گردد[16]

جدول ۱ به‌صورت خلاصه به مقایسه روش‌های پیشنهادی در حوزه پروتکل‌های مرتبط می‌پردازد. این مقایسه شامل توضیح مختصر روش‌ها، چالش‌های اصلی، مزایا و سال انتشار مقالات است. ارائه چنین جدولی امکان شناسایی نقاط قوت و ضعف هر روش را فراهم کرده و به محققان کمک می‌کند تا با دیدی جامع‌تر، مسیر تحقیقاتی مناسبی برای توسعه راهکارهای نوآورانه و بهینه‌تر انتخاب کنند

جدول۱: بررسی مقایسه روش های مرتبط پیشین

عنوان مقاله	روش مقاله	مزایا	چالش‌ها	سال انتشار/ مرجع
LEACH	خوشه‌بندی و انتخاب تصادفی سرخوشه‌ها	افزایش طول عمر شبکه، توزیع کاملاً سلسله‌مراتبی	انتخاب تصادفی سرخوشه‌ها بدون درنظرگرفتن انرژی	2000/[13]
ACH2	تخصیص سرخوشه‌ها با استفاده از انتخاب تصادفی	افزایش توان عملیاتی و بهبود تخصیص پهنای باند	طولانی‌بودن مسیر ارتباطی خوشه‌ای	2013/[14]
ACO-RP	بهره‌گیری از الگوریتم مورچه‌ها برای شبیه‌سازی رفتار مورچه‌ها و پیداکردن مسیرهای بهینه در شبکه	کاهش تأخیر و انتخاب مسیر بهینه‌تر و بهبود کیفیت	هزینه بالا یافتن مسیر بهینه در شبکه‌های بزرگ	2019/[15]
MSRP	استفاده از سینک متحرک	افزایش طول عمر شبکه و کاهش نقاط پر ترافیک	توزیع نامتوازن بار در شبکه	2019/[16]

(۲)

۳-مدل شبکه و رویکردهای پیشنهادی

در شبکه همگن، گره‌های حسگر یکسان هستند، و توپولوژی صرفاً ساکن است. این شبکه از ۱۰۰ گره تشکیل شده است که به‌صورت تصادفی و یکنواخت در یک منطقه ۱۰۰ مترمربع در نرم‌افزار متلب قرار گرفته است. ایستگاه‌های پایه در خارج از میدان سنجش قرار دارند، گره‌ها در خوشه‌ها گروه‌بندی می‌شوند، سپس با استفاده از پروتکل REEC مسیریابی و تخصیص انرژی می‌شوند.

معیارهای بهینه‌سازی ما در این مقاله، کاهش فاصله سرخوشه‌ها و ایستگاه پایه و کاهش مصرف انرژی با خواب گره‌های اضافه ارائه شده است و این امر با استفاده از پروتکل E-Reec انجام می‌شود. در این مقاله از مدل رادیویی مرتبه اول برای محاسبه تخلیه انرژی استفاده شده است. مدل‌های مصرف انرژی مانند فضای آزاد و چندمسیره [15] موردبحث قرار گرفته‌اند. مقدار انرژی موردنیاز برای انتقال یک بسته در فاصله d با استفاده از مدل رادیویی عبارت است از:

$$E(l,d) = \begin{cases} l \times E_{elec} + l \times \varepsilon_{amp} \times d^2, & d \le d0 \\ l \times E_{elec} + l \times \varepsilon_{amp} \times d^4, & d > d0 \end{cases} \quad (۱)$$

در اینجا d فاصله بین دو گره حسگر است، E_{elec} انرژی تخلیه شده توسط مدار الکترونیکی برای ارسال و دریافت بسته، E_{amp} انرژی در هر بیت موردنیاز در تقویت‌کننده انتقال در فاصله d^2 و d^4 به ترتیب است. محدوده انتقال $d0$ حداکثر فاصله را برای انتشار بسته‌ها بین دونقطه تعریف می‌کند، به این معنی که اگر d بزرگ‌تر از $d0$ بین فرستنده و گیرنده باشد، مدل چندمسیره در نظر گرفته می‌شود، در غیر این صورت از مدل فضای آزاد برای محاسبه تخلیه انرژی استفاده می‌شود و انرژی موجود در یک گره پس از هر انتقال به‌صورت پویا تغییر می‌کند باتوجه‌به رابط (۲):

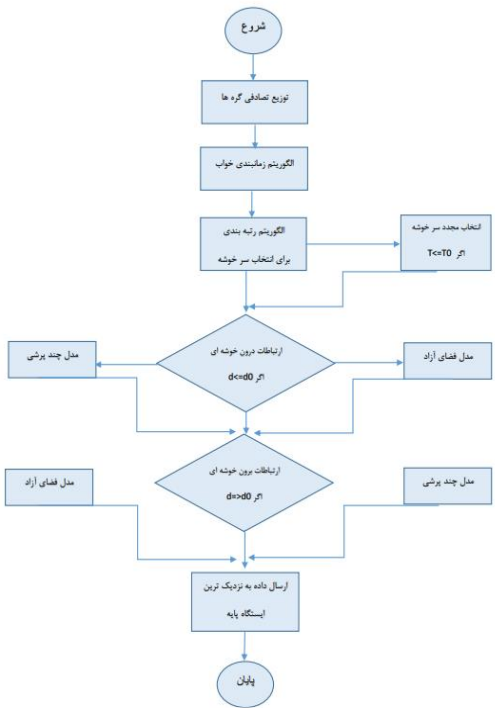
$$AE = IE - EU \quad (۲)$$

که در آن IE انرژی اولیه و EU انرژی مورداستفاده شده است. صرفه‌جویی در انرژی، افزایش طول عمر شبکه از اهداف اصلی شبکه‌های سنسور بیسیم است. صرفه‌جویی در انرژی، افزایش طول عمر شبکه از اهداف اصلی شبکه‌های سنسور بیسیم است [17].

برای دستیابی به چنین اهدافی، خوشه‌بندی به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های امیدوارکننده در نظر گرفته می‌شود. انتخاب سرخوشه‌ها در این پروتکل با درنظرگرفتن پارامترهای خاص انجام می‌شود که قابل‌کنترل‌تر و قابل‌اعتمادتر هستند. این پارامترها شامل: انرژی هر گره X_1، تعداد همسایگان هر گره X_2، فاصله هر گره تا نزدیک‌ترین ایستگاه پایه X_3 است که این رتبه‌بندی بر حسب رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$R(v) = 3x_1/\text{initial energy} + 1.5x_2/N + X_3/3 \quad (۳)$$

مقداردهی فاصله تا ایستگاه پایه (X_3) براین‌اساس است که اگر فاصله کمتر از ۱۰۰ متر باشد مقدار ۳ = X_3، اگر بین ۱۰۱ تا ۱۲۵ متر باشد مقدار آن ۲ = X_3 و بیشتر از ۱۲۵ متر باشد مقدار ۱ = X_3 به آن تعلق می‌گیرد. در شکل ۱ فلوچارت مراحل انتخاب سرخوشه در مدل پیشنهادی را ارائه می‌کند. در این فرآیند، ابتدا امتیاز گره‌ها با درنظرگرفتن پارامترهایی مانند انرژی باقی‌مانده، فاصله تا ایستگاه پایه و تعداد گره‌های همسایه محاسبه می‌شود. گره‌هایی با بالاترین امتیاز به‌عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند و سپس فرآیند زمان‌بندی خواب برای کاهش مصرف انرژی و افزایش پایداری شبکه اجرا می‌گردد. این فلوچارت به طور خلاصه مراحل اصلی پیاده‌سازی مدل را نشان می‌دهد.



شکل۱:فلوچارت پروتکل E-Reec برای انتخاب سرخوشه مبتنی بر رتبه بندی

پارامتر رتبه‌بندی می‌شوند، و ۱۰٪ از بالاترین این رتبه‌بندی به‌عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. به همه این سرخوشه‌ها یک حد آستانه انرژی داده می‌شود که اگر این حد آستانه کاهش پیدا کند مجدداً باید انتخاب سرخوشه را داشته باشیم، زیرا همسایگان و فاصله به دلیل استاتیک خوشه تغییر نخواهد کرد. بااین‌حال، پس از تعداد مشخصی دور، گره‌های همسایه

شکل۱:فلوچارت پروتکل E-Reec برای انتخاب سرخوشه مبتنی بر رتبه بندی

را نشان می‌دهد.

پس از ایجاد ارتباطات درون خوشه باید تمامی سرخوشه‌های برگزیده شده نیز به نزدیک‌ترین ایستگاه پایه متصل شوند، این رویکرد نیز ارتباطات برون خوشه را نشان می‌دهد. مزایای استفاده از چند ایستگاه پایه: توزیع بار ترافیکی، در شبکه‌های تک ایستگاه پایه‌ای، گره‌های نزدیک به ایستگاه پایه تحت‌فشار ترافیکی بیشتری قرار می‌گیرند که منجر به تخلیه سریع انرژی و ایجاد نقاط کور در شبکه می‌شود.

رویکرد چند ایستگاه پایه‌ای این مشکل را با توزیع یکنواخت بار ترافیکی برطرف می‌کند. مزیت دوم کاهش مصرف انرژی، با کاهش فاصله بین گره‌های حسگر و ایستگاه‌های پایه، انرژی موردنیاز برای انتقال داده‌ها کاهش می‌یابد. این امر به‌ویژه در سناریوهای با پوشش گسترده بسیار مهم است. مزیت سوم افزایش مقیاس‌پذیری است، این رویکرد امکان پوشش مناطق وسیع‌تری را با استفاده از چند ایستگاه پایه فراهم می‌کند. همچنین، می‌توان ایستگاه‌های پایه را به‌صورت پویا اضافه یا جابه‌جا کرد تا نیازهای شبکه برآورده شود. مزیت چهارم بهبود قابلیت اطمینان است، در صورت خرابی یکی از ایستگاه‌های پایه، داده‌ها می‌توانند از طریق ایستگاه‌های دیگر منتقل شوند که به بهبود تحمل خطا شبکه کمک می‌کند.

پس از شکل‌گرفتن ارتباطات درون و برون خوشه‌ای ما از الگوریتم زمان‌بندی خواب نیز استفاده می‌کنیم. در این الگوریتم گره‌های حسگر به طور متناوب بین حالت‌های فعال خواب تغییر وضعیت می‌دهند. تا ضمن کاهش مصرف انرژی، عملکرد شبکه از نظر جمع‌آوری و انتقال داده‌ها حفظ شود. هدف اصلی این الگوریتم‌ها، تضمین حفظ پوشش شبکه و قابلیت اطمینان در ارتباطات است، به‌گونه‌ای که بخش عمده‌ای از گره‌ها در حالت خواب قرار بگیرند، درحالی‌که تعداد کافی از گره‌ها برای انجام وظایف ضروری فعال باشند.

اصول عملکرد الگوریتم زمان‌بندی خواب هم بر اساس مدیریت پوشش حسگری و کاهش تداخل و بهبود کارایی ارتباطات است. برای مدیریت پوشش حسگری، در بسیاری از موارد گره‌های حسگر وظیفه پوشش یک منطقه خاص را بر عهده دارند. الگوریتم‌های زمان‌بندی خواب از روش‌های هندسی و خوشه‌بندی برای انتخاب گره‌های فعال استفاده می‌کنند، تا اطمینان حاصل شود که ناحیه موردنظر به طور کامل تحت پوشش است و برای کاهش تداخل و بهبود کارایی ارتباطات، با زمان‌بندی خواب گره‌ها، تداخل سیگنال‌های بی‌سیم کاهش می‌یابد و کارایی شبکه بهبود پیدا می‌کند.

۴- شبیه‌سازی و ارزیابی

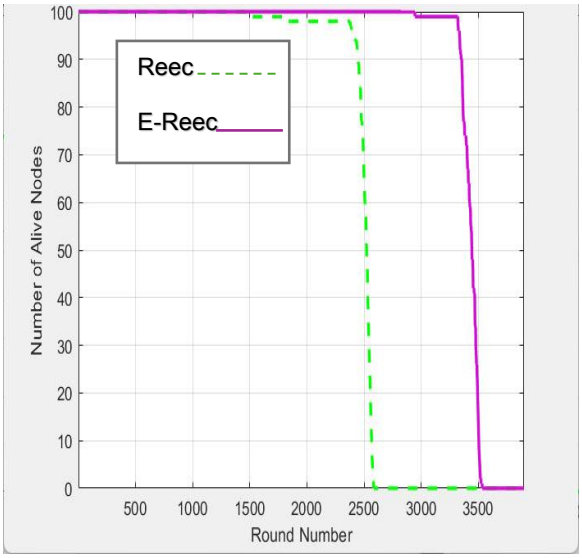
در این شبیه‌سازی، عملکرد دو پروتکل Reec و پروتکل پیشنهادی این مقاله، E-Reec، با یکدیگر مقایسه شده است.

پروتکل E-Reec که در این پژوهش طراحی و ارائه شده است، با بهره‌گیری از الگوریتم زمان‌بندی خواب در شبکه‌های حسگر بی‌سیم و درنظرگرفتن بهینه‌سازی‌های مبتنی بر ایستگاه پایه، تلاش دارد کارایی شبکه را بهبود بخشد. تمامی شبیه‌سازی‌ها با استفاده از نرم‌افزار MATLAB انجام شده و جزئیات پارامترهای مورداستفاده برای این شبیه‌سازی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: پارامترهای استفاده شده در شبیه‌ساز متلب

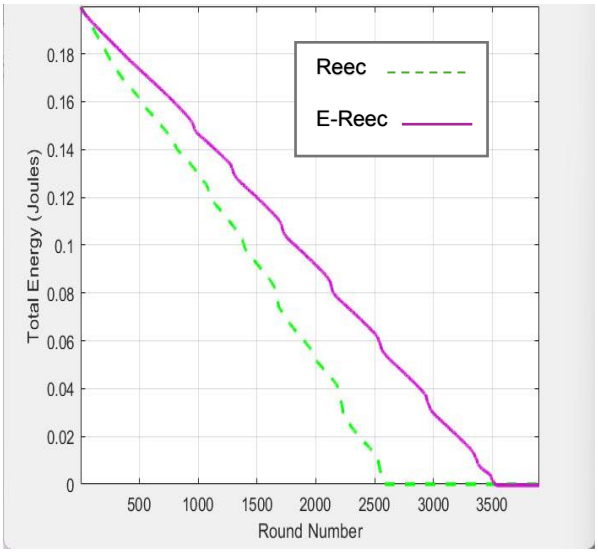
parameter	value
Sensing area	۱۰۰*۱۰۰
Network size	100N
BS1	۳۰،۱۵۰
BS2	۱۵۰،۳۰
Data size	۴۰۰،۸۰۰،۱۲۰۰،۱۶۰۰
do	10M
Nodes initial energy	0.2J
E_{elec}	50nj/bit
E_{fs}	10pj/bit/m^2
E_{mp}	0.0013pj/bit/m^4
EDA	5nj/bit
TO	۰،۵

همان‌طور که در شکل ۲ نشان‌داده‌شده است، تعداد گره‌های زنده در هر دور قابل‌مشاهده است. این شکل نشان می‌دهد که نخستین سنسور مرده در پروتکل Reec در دور ۱۵۳۰ مشاهده شده و این در حالی است که نخستین سنسور مرده در پروتکل پیشنهادی جدید ۲۸۸۰ اتفاق افتاده است و این نتایج نشان می‌دهد که E-Reec نسبت به Reec به میزان ۸۸,۲ درصد بهبودیافته است.



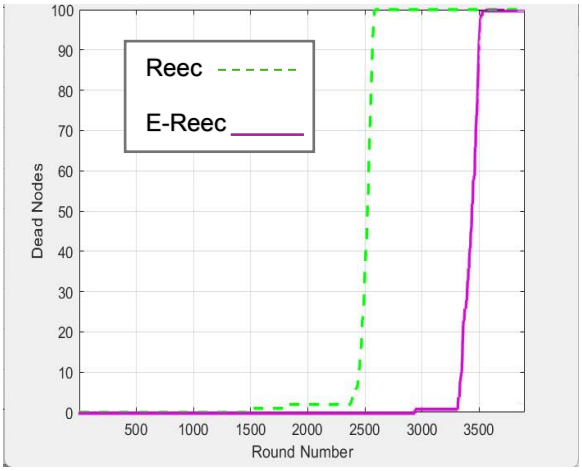
شکل ۲:تعداد سنسورهای زنده مقایسه شده بین پروتکل Reec و E-Reec

در شکل ۳ نیز میزان مصرف انرژی در شبکه حسگر بی‌سیم قابل‌مشاهده است، پروتکل جدید E-Reec نسبت به پروتکل Reec بهبود قابل‌توجهی را نشان می‌دهد. در پروتکل E-Reec انرژی کل شبکه در دور نزدیک به ۳۵۸۰ تمام می‌شود. اما در پروتکل Reec انرژی کل شبکه در دور نزدیک به ۲۷۰۰ تمام می‌شود و این نشان‌دهنده آن است که پروتکل جدید نسبت به پروتکل قبل خود توانسته عملکرد بهتری داشته باشد، و توانسته این چالش در شبکه‌های حسگر بی‌سیم را به میزان ۳۲,۵درصد نسبت به روش قبلی بهبود دهد.



شکل ۳: نمایش مصرف انرژی کل شبکه در مقایسه Reec و E-Reec

همان‌طور که در شکل ۴ نشان‌داده‌شده است، تعداد گره‌های مرده در هر دور قابل‌مشاهده است. این شکل نشان می‌دهد که نخستین سنسور مرده در پروتکل Reec در دور ۱۵۳۰ مشاهده شده و این در حالی است که نخستین سنسور مرده در پروتکل پیشنهادی جدید ۲۸۸۰ اتفاق افتاده است و این نتایج نشان می‌دهد که E-Reec نسبت به Reec به میزان ۸۸,۲درصد بهبودیافته است.



شکل ۴:تعداد سنسورهای مرده مقایسه شده بین پروتکل Reec و E-Reec

۵- نتیجه‌گیری:

باتوجه‌به محدودیت‌های ذاتی شبکه‌های حسگر بیسیم از جمله انرژی، توان پردازشی و حافظه، مصرف بهینه انرژی در پروتکل‌های مسیریابی از چالش‌های بزرگ شبکه‌های حسگر بی‌سیم محسوب می‌شوند. در این مقاله با استفاده از یک پروتکل خوشه‌بندی کارآمد مبتنی بر انرژی با استفاده از خوشه‌بندی شبکه‌ها بر اساس رتبه‌بندی تمام گره‌ها و انتخاب گره‌های با بالاترین امتیاز به‌عنوان سرخوشه، الگوریتم زمان‌بندی خواب به‌منظور کاهش مصرف انرژی با خاموش‌کردن گره‌های همپوشان و استفاده از قابلیت چند ایستگاه پایه در این پروتکل از هدررفت انرژی جلوگیری کرده، و نتایج شبیه‌سازی‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد پروتکل پیشنهادی با بهبود قابل‌توجهی پایداری، و طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم را افزایش داده است، و چالش‌های موجود در پروتکل‌های پیشین را بهبود داده است. پروتکل E-Reec نسبت به پروتکل Reec نشان داد که می‌تواند دور عملیاتی شبکه را که همان طول عمر شبکه است افزایش دهد و پس استفاده از روش‌های رتبه‌بندی برای حسگرهای بی‌سیم به موازنه انرژی در این شبکه‌ها کمک شایانی کرده است.

۶- منابع:

[1] Xiuwen Fu, Haiqing Yao, Yongsheng Yang, Cascading failures in wireless sensor networks with load redistribution of links and nodes, Ad Hoc Networks 93(2019) Article No 101900

[2] S. Singh, U. Singh, The effect of chaotic mapping on naked mole-rat algorithm for energy efficient smart city wireless sensor network, Comput. Ind. Eng. 173 (1) (2022) 1–19.

[3] D. Rajesh, T. Jaya, Energy competent cluster-based secured CH routing EC2SR protocol for mobile wireless sensor network, Concurrency Comput. Pract. Ex. 34 (1) (2022) 1–12.

[4] M.E.A. Envelope, A.M.B. Envelope, W.A.C. Envelope, An enhanced routing algorithm based on a Re-position particle swarm optimization (RA-RPSO) for wireless sensor network, Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences 34 (10) (2022) 10304–10318.

[5] Xin Liu, Xueyan Zhang, Rate and Energy Efficiency Improvements for 5G-Based IoT With Simultaneous Transfer, IEEE Internet of Things Journal 6 (2019) 5971- 5980

[6] N. Sharma, V. Gupta, A framework for wireless sensor network optimization using fuzzy-based fractal clustering to enhance energy efficiency, J. Circ. Syst. Comput 34 (13) (2022) 29–54.

[7] V. Mhatre and C. Rosenberg, “Homogeneous vs Heterogeneous Clustered Sensor Networks: A Comparative Study”, In: Proc. of IEEE International Conf. on Communications, pp. 3646–3651, 2004.

[8] J. Kim, S. Lee, B. Cho, Discrimination of battery characteristics using dis-charging/charging voltage pattern recognition, in: Proceedings of the IEEEConference on Energy Conversion Congress and Exposition, 2009, pp.1799–1805, San Jose, CA.

[9] M.M shirmohammadi, K.faez, M. Chhardoli, " LELE: Leader Election with Load balancing Energy in Wireless Sensor Network", International Conference on Communications and Mobile Computing, 2009.

[10] H. Y. An, X. C. Lu, Z. H. Gong, and W. Peng, “A Cluster-based QoS Multipath Routing Protocol for Large-Scale MANET”, In: Proc. of International Conf. on High Performance Computing and Communications, pp. 321–330, 2005.

[11] A. Kumar, V. Kumar, and N. Chand, “Energy Efficient Clustering and Cluster Head Rotation Scheme for Wireless Sensor Networks”, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 3, No. 5, pp. 129-136, 2011.

[12] Gamwarige and C. Kulasekere, “An Algorithm for Energy Driven Cluster Head Rotation in a Distributed Wireless Sensor Network”, In: Proc. of the International Conf. on Information and Automation, pp. 354-359, 2005.

[13] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, “Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks”, In: Proc. of IEEE Hawaii International Conf. on System Sciences, pp. 1-10, 2000.

[14] Ahmad, N. Javaid, Z. A. Khan, U. Qasim, and T. A. Alghamdi, “ACH2” Routing Scheme to Maximize Lifetime and Throughput of Wireless Sensor Networks”, IEEE Sensors Journal, Vol. 14, No. 10, pp. 3516–3532, 2014.

[15] D. Rajesh, T. Jaya, Energy competent cluster-based secured CH routing EC2SR protocol for mobile wireless sensor network, Concurrency and Computation: Practice and Experience, 2019.

[16] Xin Liu, Xueyan Zhang, Rate and Energy Efficiency Improvements for 5G-Based IoT With Simultaneous Transfer, IEEE Internet of Thi

ngs Journal, 2019.

[17] M Lotfinezhad, B. Liang, and E. S. Sousa, “Adaptive Cluster-Based Data Collection in Sensor Networks with Direct Sink Access”, IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 7, No. 7, pp. 884–897, 2008.

[18] M. M. Shirmohammadi and M. Chahardoli, Wireless Sensor Network. Hamadan, Iran: Publications of the Islamic Azad University, 2010, ISBN: 978-964-543-103-5.

[19] A. Ezzati and M. M. Shirmohammadi, "Optimal Lifespan Enhancement of Wireless Sensor Network After Smurf Attack Using Network-Based Intrusion Detection System and Clustering Algorithm," Intelligent Knowledge Discovery and Processing, vol. 13, no. 4, 2024. [Online]. Available: https://www.kdip.ir/article_208555.html.

[20] M. Aeini and M. M. Shirmohammadi, "An Optimized and Resilient Protocol Against Black Hole and Wormhole Attacks: AODV-OBW in Femtocell Networks," in Proceedings of the 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Future Technologies, vol. 2, Babol, Iran: Babol Noshirvani University of Technology, 2024.