

**پروتکل خوشه بندی نابرابر توزیع شده انرژی آگاه بهبود یافته برای شبکه های حسگر بی سیم ناهمگن**

**چکیده**

در این مقاله، یک نسخه بهبود یافته از پروتکل خوشه‌بندی نابرابر توزیع‌شده‌ی انرژی آگاه (EADUC) ارائه شده است. پروتکل EADUC معمولا برای حل مشکل فقدان انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم چند هاپی استفاده می‌شود. در EADUC، به محل ایستگاه پایه و انرژی باقی‌مانده به‌عنوان پارامترهای خوشه‌بندی اهمیت داده می‌شود. براساس این پارامترها، شعاع رقابت مختلفی به گره اختصاص داده می‌شود. در اینجا، یک رویکرد جدید به‌منظور بهبود کار EADUC، با انتخاب سخوشه با توجه به تعداد گره همسایگی علاوه بر دو پارامتر بالا مطرح شده است. گنجایش اطلاعات همسایگی برای محاسبه شعاع رقابت، تعادل انرژی بهتری در مقایسه با روش‌های موجود فراهم می‌کند. علاوه بر این، برای انتخاب گره هاپ بعدی، متریک به‌طورمستقیم از نظر هزینه انرژی به‌جای اطلاعات از راه دور مورد استفاده در EADUC و فاز انتقال داده در هر دور با گسترش تعداد جمع‌آوری داده‌ها از طریق استفاده از اسلات‌های بزرگ و کوچک تعریف می‌شود. روش مورد استفاده، جهت حفظ خوشه یکسان برای چند دور و درنتیجه کاهش سربار خوشه موثر است. عملکرد پروتکل ارائه شده تحت سه سناریو مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته و از طریق شبیه‌سازی با پروتکل‌های موجود مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که این طرح پیشنهادی از نظر طول عمر شبکه در تمام حالات بهتر از پروتکل‌های موجود است.

**کلیدواژه‌ها**: EDUC، فقدان انرژی، مسیریابی چند هاپ، طول عمر شبکه، شبکه‌های حسگر بی‌سیم

**1. معرفی**

شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN ها) براساس بسیاری از محدودیت‌های مشخص منابع مانند انرژی، قدرت پردازش، ذخیره‌سازی و محدوده انتقال مشخص می‌شوند. علاوه بر این عوامل، انرژی حسگرها، از محدودیت‌های اساسی منابع در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است. بسیاری از کارهای تحقیقاتی در دهه گذشته برای رسیدگی به این چالش انجام شده است [1-3]. WSN ها برای جمع‌آوری داده‌های کاربردی که شامل مقدار زیادی از منطقه از جمله مناطق زراعی، جنگل‌ها، معادن زغال سنگ، نظارت تونل راه‌آهن، نظارت سلول‌های خورشیدی فتوولتائیک در یک شبکه و غیره هستند کاربرد دارد و WSN ها نیاز به داده‌هایی از تمام مکان‌ها دارند [2،4-6]. ایستگاه پایه (BS) در بسیاری از موارد دور از حسگرها قرار دارد. در چنین شبکه‌هایی، داده‌ها به‌صورت دوره‌ای توسط BS جمع می‌شوند. خوشه‌بندی با توپولوژی سلسله مراتبی برای تحقق نظارت مستمر شبکه‌ها پرکاربرد است [7-11]. که نشان داده است خوشه‌بندی شبکه، طول عمر بیشتری از شبکه با انتقال مستقیم داده‌ها را امکان‌پذیر می‌کند. نشان داده شده است که طول عمر شبکه توسط یک عامل حدودا 2 یا 3 بار با خوشه‌بندی بهبود می‌یابد [12].

 مزایای بسیاری برای استفاده از پروتکل‌های خوشه‌بندی در شبکه‌های جمع‌آوری داده‌ها وجود دارد. در شبکه‌ی متراکم، به طور معمول حجم زیادی از ترافیک بین سنسورها وجود دارد، که منجر به دخالت و پس از آن برخورد می‌شود. انتظار می‌رود که گروه‌بندی سنسورها تعداد مسافت‌های طولانی را به‌حداقل برساند و در نتیجه در مصرف انرژی صرفه‌جویی شود. در خوشه‌بندی، زمان بیکاری گره‌های سنسور طبیعی (اعضای خوشه) استخراج می‌شود، در حالی‌که سرخوشه‌ها موجب هماهنگی فعالیت‌های گره‌های عضو و در نتیجه صرفه‌جویی انرژی [13] می‌شوند. برنامه‌ریزی فعالیت تا حد زیادی از طریق TDMA براساس برنامه‌ریزی اجرا می‌شود [5،11،14،15]. همچنین خوشه‌بندی، جمع‌آوری داده‌ها در سرخوشه (CH) را با کاهش تعداد بسته داده‌های منتقل شده تسهیل می‌کند، که به کاهش مصرف انرژی در گره‌های حسگر کمک می‌کند [13].

ارتباطات در پروتکل‌های خوشه‌بندی در دو مرحله انجام می‌گیرد، ابتدا درون خوشه، به‌عنوان مثال در داخل خوشه، و دوم بین خوشه، به‌عنوان مثال بین خوشه‌ها و BS. علاوه بر این، ارتباطات در پروتکل خوشه‌بندی شبکه‌های حسگر بی‌سیم را می‌توان یا با به کارگیری انتقال هاپ و یا مسیریابی چند هاپ انجام داد [16،17]. بسیاری از پروتکل‌های خوشه‌بندی از ارتباطات تک هاپ برای برقراری ارتباط در داخل خوشه استفاده می‌کنند، همانگونه که فاصله بین سنسورها در داخل خوشه نسبتا کوتاه است، به‌عنوان مثال، LEACH ]11[، LEACH-DT ]15[، HEED [18]، و غیره. تحقیقات مطرح شده در کارهای گذشته بیان می‌کند که ارتباطات چند هاپ بین گره‌های حسگر و سرخوشه بیش از ارتباطات تک هاپ برای مصرف موثر انرژی کارآمد است. این زمانی اتفاق می‌افتد که گره‌های حسگر در مناطق با پوشش گیاهی متراکم و یا ساختمان یا کارخانه مستقر شده باشد [1،16]. در چنین مواردی، ارتباطات چند هاپ در غلبه بر دشواری انتشار سیگنال موفق است [1،7]. با این حال، انتقال مستقیم نه تنها به دلیل پراکندگی انرژی رادیو بلکه به دلیل پذیرش نیز مفید است. ولی یک محدودیت در انتقال مستقیم وجود دارد. این مورد فقط برای استفاده از آن تا فاصله آستانه‌ی خاصی خوب است [19]. به این خاطر در صورت انتقال از راه دور فراتر از فاصله آستانه، هزینه انرژی با توجه به توان چهارم فاصله افزایش می‌یابد[15،20]. همانگونه که گره‌های حسگر انرژی محدود هستند، آنها معمولا محدوده‌ی انتقال محدود دارند. بنابراین، به منظور افزایش مقیاس‌پذیری شبکه، ارتباطات چند هاپ ترجیح داده می‌شود [21]. در صورت ارتباط از گره سرخوشه به BS، اگر BS دور از میدان سنسورباشد بهتر است از ارتباطات چند هاپ استفاده شود [19]. تعدادی پروتکل خوشه‌بندی توسعه یافته وجود دارد که از ارتباطات چند هاپ برای ارتباطات درون خوشه با انرژی کارآمد استفاده می‌کند. چند هاپ LEACH ]22[، EADC ]23[، EDUC [24]، و غیره برخی از این پروتکل‌ها هستند.

یکی از نگرانی‌های اصلی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم افزایش طول عمر شبکه است چرا که پس از ناکارآمدی شبکه، مقدار قابل توجهی از انرژی نباید در گره‌ها باقی بماند، در غیر این‌صورت اتلاف انرژی است. بسیاری از کارهای تحقیقاتی، طول عمر شبکه را به زمانی که اولین گره می‌میرد (FND) تعریف کرده‌اند. ایده پشت این فرض این است که تمام گره‌های شبکه تقریبا در زمان یکسانی به‌منظور جلوگیری از دست رفتن زودرس پوشش سنجش و پارتیشن‌بندی شبکه می‌میرند [8،11،15،18]. اما، همان‌گونه که طول عمر به برنامه‌ها بستگی دارد، اولین گره مرده به عنوان طول عمر تعریف می‌شود [25]. انواع مختلفور برنامه‌های کاربردی برای حسگر وجود دارد [26] و در نتیجه، جهت فراهم نمودن نیازمندی‌های مختلف نرم‌افزار، طول عمر شبکه طی مراحل مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد، به‌عنوان مثال زمانی که اولین گره می‌میرد، و یا درصد معینی از گره‌ها شکست می‌خورند[27]. در هر صورت، شبکه باید مستقل عمل کند و اعمال خود را در طول عمرش تضمین کند [28].

 در یک پروتکل خوشه‌بندی، CH برای انجام کارهای مختلف مانند تشکیل خوشه‌بندی، جمع‌آوری داده‌ها و انتقال داده‌ها به‌شدت سنگین است. بنابراین سر خوشه مصرف انرژی بیشتری نسبت به گره غیر CH دارد. در انتقال درون خوشه برای هر دو نوع ارتباطات، تک هاپ و چند هاپ، مشکل اجتناب‌ناپذیر عدم تعادل انرژی در میان گره‌های سنسور وجود دارد [24]. برای ارتباط هاپ تک، سر خوشه‌هایی که دور از BS هستند به دلیل انتقال از راه دور تخلیه انرژیمی‌شوند. اما هنگام استفاده از ارتباطات چند هاپ در پروتکل‌های خوشه‌بندی، سرخوشه‌های نزدیک پایگاه به‌دلیل بار اضافی ترافیک به‌سرعت تخلیه انرژی می‌کنند. بار نامتعادل ارتباطات در فقدان انرژی و یا منطقه داغ نتیجه می‌شود. با توجه به این، از دست دادن پوشش سنسورها و پارتیشن‌بندی شبکه رخ می‌دهد و در نهایت بر کارایی شبکه تاثیر می‌گذارد. تحقیقات قبلی [29] نشان داده است که اگر سنسورها به‌طور یکنواخت در منطقه مورد علاقه توزیع شوند، زمانی که طول عمر شبکه به پایان می‌رسد 90 درصد از کل انرژی سنسور بدون استفاده می‌ماند، یعنی زمانی که اولین گره مرده است. این مورد در مرجع 30 ثابت شده است که به دلیل پارادایم ارتباطات چند به یک در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، تخلیه انرژی نامتعادل در میان تمام سنسورها غیر قابل اجتناب است. برای به‌حداکثر رساندن طول عمر شبکه، مصرف انرژی در میان تمام گره‌های شبکه باید تعدیل شود. به‌تازگی، تحقیقات زیادی برای نشان دادن عدم تعادل انرژی و مسئله کاهش انرژی برای شبکه گیرنده بی‌سیم انجام شده است. تعدادی از استراتژی‌ها مانند استفاده از تحرک گره [31،32]، همزمانی تلفن‌همراه [33-36]، به‌کار گیری سلسله مراتبی[37]، خوشه‌بندی غیریکنواخت [8،24،38]، فشرده‌سازی داده و تجمع ترافیک [36،39]، توزیع گره [2،29،30،40] و غیره برای حل مشکل فقدان انرژی ارائه شده است.

در این مقاله، تلاشی برای بهبود عمر شبکه در پروتکل EADUC مورد استفاده در نظارت مستمر برنامه‌های کاربردی صورت گرفته است [38]. EADUC الگوریتم خوشه‌بندی غیریکنواخت را برای کاهش مشکل فقدان انرژی به‌کار برده است. ایده اصلی در طرح پیشنهادی ما این است که در طول انتخاب سرخوشه، انتساب شعاع رقابتی گره نه تنها براساس عامل فاصله و انرژی باقی‌مانده گره که درEADUC استفاده شده است، بلکه بنا به یک عامل سوم، تعداد گره همسایه، نیز صورت می‌گیرد. اطلاعات همسایگی به‌عنوان پارامتر خوشه‌بندی برای گسترش طول عمر شبکه در نظر گرفته می‌شود. یکی دیگر از ایده‌های کلیدی مورد استفاده در این مقاله، بهبود پروتکل EADUC در طول روند انتخاب از ترافیک است. هزینه‌های درگیر در تقویت، از نظر انرژی، به‌عنوان معیارهایی برای انتخاب یکی از گره‌های ممکن به‌عنوان گره تقویتی به‌جای اطلاعات مسافت مورد استفاده در EADUC مشخص می‌شوند. طرح پیشنهادی به مصرف انرژی گره‌ها در شبکه برای توزیع یکنواخت همانند توزیع غیریکنواخت اشاره دارد. به‌منظور افزایش طول عمر شبکه، ایده‌ی گسترش مرحله انتقال داده‌ها با تقسیم به اسلات‌های عمده و اسلات‌های کوچک به‌طور موثر با خوشه‌بندی پیشنهادی و روش تقویتی استفاده شده در مرجع 41 ترکیب می‌شود. جمع‌آوری داده‌ها در هر حافظه کوچک با استفاده از خوشه‌های یکسان تشکیل می‌شود. بعد از هر حافظه بزرگ، چرخش سرخوشه در محدوده‌ی خوشه فعلی و تحویل اعضای خوشه صورت می‌گیرد. رویکرد پیشنهادی سربار خوشه را کاهش می‌دهد و در نتیجه موجب افزایش طول عمر شبکه می‌شود. کارآیی پروتکل ارائه شده با پروتکل‌های موجود بااستفاده از طول عمر شبکه به‌عنوان متریک کارآیی مقایسه می‌شود.

ادامه این مقاله به شرح زیر است: بخش 2 بررسی کارهای مرتبط و بخش 3 ارائه مدل سیستم است. بخش 4 توصیف عملیات پروتکل ارائه شده با جزئیات و بخش 5 تجزیه‌وتحلیل ویژگی‌های پروتکل را بیان می‌کند. بخش 6 نتایج شبیه سازی طرح‌های سنسور ما را انجام می‌دهد و آن را با پروتکل‌های موجود مقایسه می‌کند. بخش 7 شامل نتیجه‌گیری مقاله است.

 **2. کارهای مرتبط**

کار پژوهش‌های پیشین در مورد الگوریتم‌های خوشه‌بندی براساس چرخش نقش سرخوشه‌ها در هر دور، و انتخاب سرخوشه با انرژی بیشتر به‌منظور افزایش طول عمر شبکه می‌باشد. پروتکل PIONEER موجود در این دسته، پروتکل خوشه‌بندی سلسله مراتبی با تطبیق ​​کم انرژی است (LEACH) [20]. پروتکل LEACH ارتباطات تک هاپی را بین گره‌ها و به پایه ایستگاه فرض می‌کند. این باعث می‌شود تا برای شبکه‌های در مقیاس بزرگ نامناسب باشد. بسیاری از پروتک‌ های مبتنی بر LEACH که در گذشته توسعه یافته‌اند بر روی پروتکل LEACH، مانند LEACH-DT [15] و یا نوع چند هاپ از LEACH، به‌نام M-LEACH [1] بهبود یافته‌اند. الگوریتم خوشه‌بندی توزیع‌شده‌ی ترکیبی با انرژی کارآمد (HEED) در مرجع 18مطرح شده است، که سرخوشه را نه تنها با توجه به انرژی باقی‌مانده گره بلکه هزینه ارتباطات داخل خوشه انتخاب می‌کند. آن از ارتباطات چند هاپ در میان سرخوشه برای ارتباط بین خوشه استفاده می‌کند. این مورد در طولانی‌تر شدن طول عمر شبکه موفقیت‌آمیز عمل می‌کند اما در تعادل بار ارتباطات موثر نیست و همانند گره نزدیک به BS هنوز هم سریع‌تر می‌میرند. پروتکل دیگر، الگوریتم خوشه‌بندی کارآمد انرژی و توزیع شده (DEEC)است [42]. در DEEC، سرخوشه‌ها توسط یک احتمال که براساس نسبت انرژی باقی‌مانده از یک گره و به‌طور متوسط ​​براساس انرژی شبکه می‌باشد انتخاب می‌شوند. در تمام این طرح خوشه‌بندی با انرژی کارآمد، هر چند چرخش متناوب تابع سرخوشه می‌بیند که گره از طریق انرژی به طور مساوی اجرا می‌شود، اما در اجتناب از مشکل فقدان انرژی داده شبکه‌های حسگر بی‌سیم موثر نیست. بسیاری از روش‌ها در کارهای گذشته برای غلبه بر مشکل فقدان انرژی مطرح شده‌اند و در نتیجه طول عمر شبکه را به‌حداکثر می‌رسانند. روش‌هایی برای غلبه بر مشکل فقدان انرژی به سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند [43]. روش‌های اول رویکرد رسیدگی دارند، مانند گسترش رسیدگی [35]، به‌عنوان مثال TTDD [44]، فشرده‌سازی ترافیک و تجمع [39]. گره‌های انرژی اولیه بزرگتر را می‌توان در منطقه مصرف انرژی بزرگتر مستقر کرد، به‌عنوان مثال با استفاده از ناهمگنی انرژی [35]، و یا همانند TTDD [44]، که استقرار سلسله مراتبی نامیده می‌شود. در طرح TTDD، تعدادی از گره‌های اختصاص داده شده با داشتن ظرفیت باتری بزرگتر و محدوده انتقال بزرگتر مستقر می‌شوند. این گره‌های اختصاص داده شده یک منطقه در سمت بالای سنسور به‌طور منظم ایجاد می‌کنند که انرژی اولیه کمتری دارند و در نتیجه در کاهش مشکل فقدان انرژی کمک می‌کنند. نوع دوم که براساس استراتژی توزیع گره است در مراجع [29]، [30]، [45] و [46] مورد مطالعه قرار گرفته است. بیشترین تعداد گره را می‌توان در نزدیکی BS مستقر کرد. همچنین در مرجع [47]، گره‌ها با کمک تابع توزیع از پیش مشخص شده تعیین شده‌اند. رویکرد سوم براساس تنظیم محدوده انتقال است [35،43،48]. طرح محدوده انتقال به تنظیم برای به حداکثر رساندن سنسور طول عمر شبکه در مرجع 43 پرداخته است. مشکل فقدان انرژی با تنظیم شعاع محدوده‌ی سنسور ارتباطات در مرجع 35 حل شده است. اما این راه‌حل یک محدودیت شدید در اندازه میدان سنسور دارد. تحرک همزمانی، جایگزین دیگری برای حل مشکل فقدان انرژی است [36،48]. در مرجع 36، تحرک ایستگاه پایه برای شبکه رویداد محور در نظر گرفته شده است. نویسندگان در مرجع 33 تحرک ایستگاه پایه و روش مسیریابی چند هاپ برای گسترش طول عمر در WSN را پیشنهاد کرده‌اند. اشکال عمده این روش امکان‌پذیر نبودن آن است. این روش‌ها مستلزم هزینه بالا و پایین در بهره‌وری انرژی هستند [46].

در چند سال گذشته محققان، استراتژی برای بررسی مشکل فقدان انرژی به‌صورت سلسله‌مراتبی (براساس خوشه) در شبکه گیرنده بی‌سیم بیان کردند. الگوریتم‌های کارآمد انرژی بسیاری بااستفاده از روش خوشه‌بندی با اندازه برابر و نابرابر توسعه یافته‌اند. در اینجا ما خوشه‌بندی با اندازه نابرابر برای مقابله با مشکل مصرف انرژی میان گره‌های حسگر از شبکه تعریف می‌کنیم. اولین الگوریتم ارائه شده در استفاده از اندازه نابرابر، مدل خوشه‌بندی با اندازه نابرابر است (UCS) [8]، که خوشه‌هایی نابرابر برای کاهش سرخوشه‌ها و حصول اطمینان از تعادل بهتر اتلاف انرژی در میان گره‌ها ایجاد می‌کند. در این کار شبکه ناهمگن و استقرار قطعی سرخوشه‌ها در مکان‌های از پیش محاسبه شده برای کنترل اندازه خوشه انجام می‌گیرد. که بهبود بیش از 10-30 درصدی در اندازه خوشه، بسته به بهره‌وری تجمع گره CH به‌دست می‌آورد. در EEUC [49]، یک الگوریتم خوشه‌بندی و توزیع شده برای برنامه‌های کاربردی جمع‌آوری داده‌ها طراحی می‌کند، که گره‌های شبکه بااستفاده از خوشه‌بندی نابرابر و مسیریابی چند هاپ را به‌طور موثر سازماندهی می‌کند. اما در این روش انتخاب سرخوشه به‌صورت احتمالاتی است بنابراین گره انفرادی می‌تواند تولید شود.

علاوه‌براین بااستفاده از خوشه‌بندی نابرابر برای حل عدم تعادل انرژی، کار بااستفاده از انرژی کارآمد مسیریابی چند هاپ برای صرفه‌جویی در انرژی گره‌ها انجام شده است. در این گروه، EEMR [50]، یک پروتکل مسیریابی چند هاپ انرژی آگاه طراحی شده است. که از BS برای انتخاب مسیر بهینه برای انتقال داده‌ها بین گره منبع و گره همزمان استفاده می‌کند. بااستفاده از انرژی BS برای انتخاب مسیر با مسیریابی و دیگر پیام‌های کنترل، انرژی گره‌های شبکه محفوظ است. پروتکل مسیریابی براساس خوشه نابرابر (UCR) [51] الگوریتم دیگری برای در نظر گرفتن مشکل نقطه داغ در شبکه‌های سنسور چند هاپ ارائه شده است. همچنین خوشه‌های نابرابری بااستفاده از محدوده رقابت و برای ارتباطات درون خوشه تشکیل می‌دهد، که از پروتکل مسیریابی حریص جغرافیایی و انرژی آگاه استفاده می‌کند. استراتژی مسیریابی در این مقاله از هر دو روش انرژی باقی‌مانده و انتقال پارامترهای فاصله برای تعادل مصرف انرژی در سراسر شبکه استفاده می‌کند.

روش دیگر، پروتکل خوشه‌بندی نابرابر انرژی محور (EDUC) [24]، یک الگوریتم خوشه‌بندی نابرابر توزیع‌شده و روش چرخش سر خوشه تطبیقی انرژی ​​محور است. در این روش، انرژی مصرف شده در چرخش سرخوشه با سر خوشه قرار گرفتن گره تنها یک بار در طول طول شبکه کاهش می‌یابد. بنابراین، با کاهش هزینه‌های انرژی استفاده شده در چرخش سرخوشه، به بهره‌وری انرژی می‌رسیم. اما محدودیت‌هایی دارد که فقط برای شبکه‌های تک هاپ مفید است.

در مرجع 52، یک پروتکل مسیریابی چند هاپ خوشه‌بندی نابرابر (UCMR) پیشنهاد شده است، که در آن هر خوشه، اندازه‌های مختلف براساس فاصله تا BS و الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر دیکسترا دارد و برای ارتباطات داخل خوشه و درون خوشه استفاده می‌شود. اما برخلاف پروتکل‌های دیگر که محل ناآگاه هستند، UCMR متکی به اطلاعات فیزیکی مکان است. نویسندگان مرجع [53] مشکل عدم تعادل انرژی را از طریق الگوریتم خوشه‌بندی نابرابر براساس انرژی و نزدیکی معرفی کردند (EPUC). سرخوشه‌ها براساس انرژی باقی‌مانده و نزدیکی آنها به BS انتخاب می‌شوند. این روش بر روی مناطق نزدیک BS برای مقابله با عدم تعادل انرژی همانگونه که منطقه دارای سربار باتوجه به فعالیت است انتخاب می‌شود.

به‌تازگی پروتکل خوشه‌بندی نابرابر بر اساس تعادل انرژی (SMEBUC) در مرجع [54] ارائه شده است، که از الگوریتم بهبودیافته جهش قورباغه برای خوشه‌بندی شبکه و استراتژی جایگزینی سرخوشه استفاده می‌کند. سرخوشه یک بار به طور مداوم و با کاهش فرکانس، جایگزینی برای سرخوشه انتخاب می‌شود و موجب صرفه‌جویی در انرژی است. بسته به وزن، زمان تبادل سرخوشه تعیین می‌شود و سرخوشه‌ها از الگوریتم حریص برای تعیین گره مربوط به آن استفاده می‌کنند. ارتباطات درون خوشه با استفاده از مسیریابی چندهاپ انجام می‌شود و یک آستانه برای جلوگیری از زنجیره واحد طولانی تشکیل می‌دهد. یکی دیگر از روش‌های جمع‌آوری کارآمد داده‌های انرژی در مرجع 41 با بهره‌گیری از خوشه‌بندی ترکیبی نابرابر ارائه شده است. در این روش، شبکه به لایه‌ها و خوشه‌ها تقسیم می‌شود. لایه ‌ندی برای ارتباط بین خوشه، که چند هاپ در طبیعت است استفاده می‌شود. خوشه‌ها مستقل از لایه‌ها هستند و رویکرد ترکیبی از خوشه‌بندی ایستا و پویا مورد استفاده قرار گرفته است. فرکانس خوشه کاهش می‌یابد، که باعث کاهش سربار خوشه‌بندی می‌شود. همچنین از الگوریتم فشرده‌سازی داده‌ها در شبکه استفاده می‌کند که باعث بهبود طول عمر شبکه می‌شود.

 **3. مقدمات**

الگوریتم EADUC بهبود یافته در این بخش ارائه شده است. شبکه در نظر گرفته شده شامل N گره حسگر تصادفی در یک میدان سنسور M × M است. گره‌ها و ایستگاه پایه پس از استقرار استاتیک می‌باشند. گره‌ها دارای انرژی جنبشی هستند، یعنی گره مستقر انرژی اولیه متفاوت دارد. BS دور از فیلد سنسور است و محل آن برای هر گره به فرض ناشناخته است. گره‌ها از کنترل قدرت برای تنظیم قدرت انتقال بسته در فاصله انتقال استفاده می‌کنند. گره‌ها محل آگاه نیستند، اما می‌توانند تخمینی از فاصله به گره توسعه یافته‌ی دیگر با قدرت سیگنال دریافت شده ارائه کنند. به‌صورپیش فرض گره‌ها متقارن هستند [49،55]. سرخوشه‌ها می‌توانتد داده‌های خود را به‌طور مستقیم با BS منتقل کنند. پیام‌های داده (DM) و پیام‌های کنترل (CM) از طریق لینک‌های بی‌سیم منتقل می‌شوند. علاوه بر این، فرض بر این است که داده‌های حس شده توسط گره‌ها بسیار در ارتباط هستند.

**3.1. مدل انرژی**

فرستنده انرژی را در حال اجرا الکترون‌های رادیویی و مدار تقویت کننده انتقال تلف می‌کند، درحالی‌که مصرف انرژی گیرنده تنها در بخش الکترونیک [11،20] است. همچنین بسته به فاصله انتقال، هر دو فضای آزاد و مدل‌های کانال استفاده می‌شود. اگر فاصله کمتر از یک سطح آستانه باشد، مدل فضای آزاد استفاده می‌شود؛ درغیر این‌صورت مدل چندمسیری استفاده می‌شود. به هنگام انتقال داده l بیتی به فاصله d، رادیو با توجه به معادله (1) قابل محاسبه است.



هنگام دریافت داده‌ی یک بیتی، رادیو با توجه به معادله (2) قابل محاسبه است.



**3.2. مدل تجمع داده**

در کار حاضر، مدل تراکم بی‌نهایت برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده شده است [7،20]. فرض بر این است که سر خوشه‌ها، داده‌ها را از گره‌های عضو آن جمع‌آوری می‌کنند و آن‌ها را در یک بسته واحد با طول ثابت بدون در نظر گرفتن تعداد بسته‌ها ادغام می‌کنند.

 **4. بهبود مکانیزم پروتکل EADUC**

روش خوشه‌بندی مورد استفاده در عملیات مشابه به پروتکل EADUC است [38]. پروتکل در یک دور عمل می‌کند. پس از استقرار گره‌ها، هر گره ابتدا فاصله خود از BS را محاسبه می‌کند. برای این کار، BS یک سیگنال پخش می‌کند، که توسط تمام گره‌ها شنیده می‌شود. براساس دریافت قدرت سیگنال، هر گره فاصله‌اش تا BS را تخمین می‌زند. هر یک دور شامل مرحله تنظیم خوشه و مرحله حالت ثابت است که انتقال داده‌ها در آن صورت می‌گیرد. مرحله تنظیم کردن به سه زیر مرحله با مدت زمان T1، T2 و T3 تقسیم می‌شود. اولین زیرمرحله مجموعه اطلاعات گره همسایه است. در آغاز جمع‌آوری اطلاعات زیر مرحله، هر گره پخش Node\_Msg را تقسیم می‌کند، که شامل انرژی باقی‌مانده خود را همراه با شناسه آن است. تمام گره‌ها، که در برد رادیویی آن قرار دارند، Node\_Msg را از تمام همسایگان خود دریافت می‌کنند. پس از آن هر گره با متوسط ​​انرژی باقی‌مانده، Eavg\_res، خوشه مطابق معادله (3) کار می‌کند.



که در آن SJ یکی از گره‌ها است. Er انرژی باقی‌مانده از SJ است و NB تعداد همسایگان است. پس از پایان T1 عملیات روش بعدی از زیرمرحله، به‎عنوان مثال رقابت سرخوشه، شروع می‎شود که مدت زمان آن T2 است. در این زیرمرحله سرخوشه انتخاب شده است. در پایان مرحله جمع‌آوری اطلاعات، هر گره زمان انتظار خود برای پخش Head\_Msg را مطابق معادله (4) محاسبه می‌کند.



که در آن Er انرژی باقی‌مانده در آن گره باشد. VR یک مقدار تصادفی در توزیع [0.9، 1] است، که برای کاهش احتمال این‌که دو گره Head\_Msg را در زمان یکسانی ارسال کنند استفاده می‌شود [37]. اگر هیچ گرهی Head\_Msg را دریافت نکند، Head\_Msg را در Rc برای تبلیغ حالت آن به‌عنوان سر‌‎خوشه پخش می‌کند.

EADUC بهبودیافته براساس پروتکل EADUC است [38]؛ بااین‌حال، در مقابل EADUC، از شعاع‌های رقابتی مختلفی برای تولید خوشه‌های نابرابر استفاده می‌کند. در اصل پروتکل EADUC، برای بیان شعاع رقابت، تنها فاصله بین گره‌ها و BS و انرژی باقی‌مانده گره را در نظر می‌گیرد. به‌منظور محاسبه هزینه تجمع، طرح پیشنهادی علاوه بر دو عامل فوق، تعداد همسایگان را درحین تصمیم‌گیری شعاع رقابت در نظر می‌گیرد. شعاع رقابت برای روش پیشنهادی تابعی از فاصله به BS، انرژی باقی‌مانده از CH و تعداد گره همسایه است. گره‌ها با انرژی باقی‌مانده نسبتا بالاتر، با فاصله بیشتر از BS و تعداد کمی از گره‌های همسایه باید شعاع رقابت بزرگتری داشته باشند. برای دستیابی به آن، فرمول زیر در معادله (5) استفاده شده است.



که در آن α، β، γ وزن‌هایی در (0، 1) هستند، Rmax حداکثر مقدار شعاع انتقال، DMAX و dmin حداکثر و حداقل فاصله گره‌ها از BS، d(sj,BS) فاصله گره j ام از BS، Er انرژی باقی‌مانده گره و Emax حداکثر انرژی اولیه گره‌ها در شبکه، sj(nb) تعداد گره‌های همسایه گره j ام و nbmax حداکثر تعداد گره‌های همسایه است. بنابراین، ترکیب فاصله گره‌ها از BS، انرژی باقی‌مانده آن‌ها، اطلاعات همسایه آن و اندازه خوشه رسیدگی می‌شود.

ایده گنجاندن اطلاعات همسایه برای انتخاب سرخوشه همراه با انرژی موجود و فاصله تا همزمانی در برخی از پروتکل‌های موجود استفاده شده است، یعنی پروتکل مسیریابی خوشه‌بندی چند هاپ نابرابر (UCMR) [52]، و خوشه‌بندی ترکیبی نابرابر با پروتکل لایه‌بندی (HUCL) [41]. بااین‌حال، در پروتکل‌های UCMR و HUCL، تعداد همسایگان در حین محاسبه شعاع رقابتی در نظر گرفته نشده است. محاسبه شعاع رقابت در این مقالات با استفاده از پارامتر فاصله همانند انرژی مکانیسم خوشه‌بندی نابرابر انرژی آگاه (EEUC) [49] و یا پروتکل مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی نابرابر (UCR) [51] استفاده می‌شود. در پروتکل UCMR، تعداد گره‌های همسایه در محاسبه وزن که یکی از پارامترها در انتخاب سرخوشه است گنجانیده می‌شود. در پروتکل HUCL، اطلاعات همسایگی، همانند تعداد همسایگان در طول محاسبه زمان انتظار استفاده می‌شود، که یک گام حین راه‌اندازی خوشه است.

پس از زیرمرحله رقابت سرخوشه، درجایی‌که سرخوشه‌ها انتخاب می‌شوند، شکل‌گیری خوشه شروع می‌شود، که مدت زمان آن T3 است. در این مرحله، گره‌های عادی نزدیکترین سرخوشه را انتخاب می‌کنند. باارسال Join\_Msg، خوشه تشکیل می‌شود. سرخوشه، به نوبه خود، TDMA Schedule\_Msg را برای داده‌های عضو خوشه پخش می‌کند. درنتیجه گره عضو می‌تواند تنها در طول زمان خود کار کند و در زمان‌های دیگر در حالت خواب باقی می‌ماند. این مورد به صرفه‌جویی انرژی کمک می‌کند.

پس از راه‌اندازی شبکه به عنوان خوشه، فاز حالت پایدار آغاز می‌شود. در این فاز، انتقال داده‌ها صورت می‌گیرد. اول گره عضو با توجه به زمان‌بندی تهیه شده توسط سرخوشه مربوطه داده‌های دریافتی خود را انتقال می‌دهد. این انتقال تک هاپ است و به‌عنوان ارتباطات داخل خوشه‌ها شناخته شده است. سرخوشه داده‌های دریافتی از گره‌های عضو را جمع‌آوری و نگهداری می‌کند. اعضای انتخاب شده در یک خوشه، به سرخوشه مربوطه نزدیکتر می‌باشند، بنابراین جمع کردن داده‌های ورودی در یک بسته مناسب است. وظیفه ارتباطات داخل خوشه‌ها در تمام خوشه‌ها انجام شده است.

سرخوشه‌ها بسته‌های داده به BS را مستقیما و یا از طریق واسطه انتقال می‌دهند. اگر فاصله سرخوشه‌های مربوطه به BS بیشتر از فاصله آستانه (dist\_th) باشد، ارتباطات داخل خوشه‌ای انجام می‌شود. درغیر این‌صورت انتقال مستقیم اجرا شده است. برای ارتباط درون خوشه‌ای، انتخاب سرخوشه به‌عنوان گره بعدی است.

در پروتکل اصلی EADUC، انتخاب گره به‌عنوان یکی از گره‌های همسایه از حمل کاندیدایی برای مجموعه مطابق با یکی از پارامتر Erelay انجام می‌گیرد. پارامتر Erelay به‌عنوان مصرف انرژی هنگام انتخاب Si از Sj به عنوان هاپ بعدی، از معادله (6) محاسبه می‌شود.



بنابراین، در پروتکل EADUC، گره‌ای با کوچکترین Erelay به‌عنوان گره‌ای برای انتقال داده‌ها به BS انتخاب می‌شود.

 ما استدلال می‌کنیم که رابطه بین فاصله و انرژی خطی نیست، مصرف انرژی Erelay ممکن است تنها متریک مهم برای تنظیم مسیر باشد. در طرح پیشنهادی ما انتخاب گره انتقال براساس برآورد انرژی در هر یک از گره‌های احتمالی ممکن است. درنهایت یکی از گره‌های امکان‌پذیر باتوجه به عبارت داده شده در معادله (7) به‌عنوان گره انتقال انتخاب می‌شود. در روش پیشنهادی، برای فرایند ارتباطات درون خوشه، هر سرخوشه ابتدا یک پیام متشکل از شناسه گره، انرژی باقی‌مانده، تعداد زیادی از اعضای خوشه و فاصله تا BS را پخش می‌کند. CH si، CH sj را به‌عنوان گره انتقال انتخاب می‌کند، اگر انرژی باقی‌مانده آن بزرگترین مقدار باشد، پس از ترکیب انرژی بین خوشه‌ای، هزینه انتقال درون خوشه و هزینه انتقال داده‌ها از SJ به BS قابل محاسبه است.



که در آن sj.Ejr نشان‌دهنده انرژی باقی‌مانده گره j ام؛ count نشان‌دهنده تعداد عضو گره j ام؛ ERX نشان‌دهنده هزینه انرژی در دریافت داده‌‎ها از اعضای آن با طول بسته DM؛ EDA نشان‌دهنده هزینه‌های انرژی در جمع داده‌های دریافت شده و ETX هزینه انرژی در انتقال بسته داده از CH si به CH sj نسبت به relay\_dist و در نهایت به BS. EMAX حداکثر انرژی ابتدایی باقی‌مانده در شبکه است. CH sj پیام را به‌‍طور مستقیم به BS در هر یک از موارد انتقال می‌دهد، به‌عنوان مثال اگر sj در داخل dist\_th از پیش تعیین شده باشد و یا حتی اگر شرط اول درست نباشد، هیچ گره CH دیگری برای مسیریابی بسته موجود نیست. بنابراین، sj سرخوشه را بنا به حداکثر مقدار انتقال انتخاب می‌کند، یعنی پیوندی که بالاترین انرژی باقی‌مانده را دارد. با انتخاب گره انتقال با انتقال بالاتر موجب تعادل انرژی و گسترش طول عمر شبکه خواهیم شد.

به‌منظور بهبود بیشتر عملکرد، چرخش سرخوشه در هر دور انجام نشده است. به‌جای راه‌اندازی یک‌بار خوشه، برای چند دور باقی می‌ماند. در یک دور از عملیات پروتکل، فاز انتقال داده‌ها چندبار اجرا می‌شود. برای این کار، مرحله حالت پایدار شامل یک تعداد اسلات بزرگ، 'M' است. هر اسلات بزرگ شامل تعدادی مینی اسلات، ‘m’ است. در هر اسلات کوچک، کل فرایند انتقال داده انجام می‌گیرد. در آخرین اسلات کوچک، گره عضو انرژی باقی‌مانده خود را همراه با داده‌ها ارسال می‌کند. پس از اسلات بزرگ، چرخش سرخوشه در مرز خوشه انجام می‌گیرد. سرخوشه‌های قدیمی با سرخوشه جدید در یک خوشه بنا به انرژی باقی‌مانده از گره و فاصله از سرخوشه جاری جایگزین می‌شود. گره عضوی که انرژی باقی‌مانده بالاتر و حداقل فاصله را دارد به عنوان سرخوشه جدید انتخاب می‌شود. سرخوشه‌های قدیمی لیست اعضا را به سرخوشه تحویل می‌دهند. زمانی‌که انتخاب سرخوشه جدید و تحویل رخ می‌دهد، اسلات بزرگ دیگری آغاز می‌شود. بعد از اتمام تعداد اسلات‌ بزرگ، دور دیگری از پروتکل متشکل از فاز راه‌اندازی و فاز حالت پایدار اجرا می‌شود.

**5. تجزیه‌وتحلیل پروتکل**

در زیر ویژگی‌های پروتکل EADUC بهبود یافته است.

(1) سرخوشه براساس نسبت متوسط ​​انرژی باقی‌مانده و انرژی باقی‌مانده از گره‌های داده شده در معادله (4) انتخاب می‌شود. که به طولانی شدن طول عمر شبکه همانند گره‌هایی که با انرژی باقی‌مانده بیشتر انتخاب می‌شوند کمک می‌کند.

(2) مجموعه سرخوشه پوشش تمام شبکه را انتخاب می‌کند. همانند معادله (4)، پارامتر vr تضمین می‌کند که برای هر مورد از انرژی باقی‌مانده گره، زمان انتظار کمتر یا مساوی T2 از زیرمرحله رقابت سرخوشه است. بنابراین، هر گره می‌تواند قبل از زمان T2 تبدیل به یک سرخوشه شود. علاوه‌براین، هر گره Head\_Msg دریافت نمی‌کند و خود را به سرخوشه پخش می‌کند.

(3) قانون رقابت شعاع مورد استفاده برای تولید خوشه نابرابر براساس فاصله تا BS، انرژی باقی‌مانده گره و تعداد همسایه‌ها است. که به بهتر شدن انرژی در شبکه به‌عنوان اطلاعات همسایه با در نظر گرفتن هزینه‌های تجمع انرژی کمک می‌کند.

(4) متریک مربوطه به‌طور مستقیم از نظر انرژی تعریف می‌شود، که به طولانی‌تر شدن طول عمر با انتخاب مسیر موثر برای ارسال داده‌ها به BS کمک می‌کند.

(5) سربار خوشه‌بندی به‌عنوان راه‌انداز خوشه برای چند دور است. بنابراین، مصرف انرژی و مدت طول عمر شبکه تغییر می‌کند.

**6. ارزیابی عملکرد**

**6.1. محیط شبیه‌سازی**

سه سناریو برای شبیه‌سازی انتخاب شده است:

**سناریو 1:** 100 گره به‌طور یکنواخت به مساحت 200 × 200 مترمربع در شکل 1 (الف) نشان داده شده است.

 **سناریو 2:** 100 گره غیریکنواخت با بیشترین تعداد گره‌های حسگر که با هم در سمت راست فیلد سنسور گروه‌بندی شده‌اند، به‌عنوان مثال در نزدیکی BS، بیش از یک منطقه با 200 × 200 مترمربع همانطور که در شکل 1 (ب)نشان داده شده است.

**سناریو 3:** 100 گره غیریکنواخت با بیشترین تعداد گره‌های حسگر که با هم در سمت چپ فیلد سنسور گروه‌بندی شده‌اند، به‌عنوان مثال دورتر از BS، بیش از یک منطقه با200 × 200 مترمربع همانطور که در شکل1 (ج) نشان داده شده است.





به منظور مشاهده اثر روش پیشنهادی محاسبات شعاع رقابت و حفاظت و تکنیک تقسیم مرحله انتقال داده‌ها به اسلات‌های بزرگ و کوچک به‌طور جداگانه، نتایج حاصل از پروتکل ارائه شده، EADUC بهبود یافته، در دو مرحله و در بخش بعدی نشان داده شده است. در اولین پیاده‌سازی، یعنی EADUC 1 بهبودیافته، پروتکل ارائه شده از روش‌های خوشه‌بندی تنها بدون ترکیب تقسیم مرحله انتقال داده‌ها استفاده می‌کند. در دومین پیاده‌سازی، یعنی EADUC 2 بهبودیافته، روش‌های خوشه‌بندی همراه با روش تقسیم فاز انتقال داده‌ها گنجانیده شده است. درحالی‌که در شبیه‌سازی پروتکل EADUC 2 تعداد مینی اسلات با 3 و اسلات بزرگ با 2 در نظر گرفته می‌شود. انرژی بهره‌وری پروتکل ارائه شده با پروتکل EADUC و پروتکل HUCL مقایسه می‌شود. برای مقایسه، پارامترهای شبیه‌سازی و سناریوهای در نظر گرفته شده در تمام پروتکل‌ها و مکانیسم اصلی عملیات پروتکل HUCL بدون فشرده‌سازی در نظر گرفته شده است.

**6.2. پارامترهای شبیه‌سازی**

پارامترهای شبیه‌سازی مورد استفاده در مقاله‌ی حاضر در جدول 1 ذکر شده است.

**7. نتایج و بحث**

شبیه‌سازی در نرم‌افزار MATLAB انجام شده است. در نتایج شبیه سازی، مدل انرژی و مدل جمع‌آوری داده‌ها در بخشهای 3.1 و 3.2 به ترتیب استفاده می‌شود. نتایج حاصل از شبیه‌سازی به‌طور متوسط ​​در چند آزمایش انجام می‌شود. معیارهای عملکرد زیر در این مقاله استفاده می‌شوند:

• تعداد سرخوشه‌ها: این متریک تاثیر توزیع گره در هر سناریو است.

• میانگین مصرف انرژی در هر دور: این متریک مصرف متوسط انرژی توسط تمام گره‌های شبکه در یک دور است.

• انرژی باقی‌مانده شبکه: این متریک نشان‌دهنده کل انرژی باقی‌مانده از شبکه با توجه به دورها است.

• طول عمر شبکه -FND: این متریک، داده‌های جمع‌آوری شده‌ی دورها و نشان‌دهنده‌ی زمان است زمانی که اولین گره در شبکه می‌میرد.

• طول عمر شبکه -PNA: این متریک مربوط به دوره زمانی از عملکرد لحظه‌ای شروع شبکه، زمانی که 10 درصد از گره‌ها مرده‌اند می‌شود.

• تعداد گره‌های زنده: این متریک تعداد گره‌های زنده با توجه به دورها را نشان می‌دهد.



**7.1. ارزیابی توزیع CH**

شکل. 2 متوسط ​​تعداد سرخوشه‌های تولید شده در هر سناریو را نشان می‌دهد. سرخوشه‌ها توزیع شده و تعداد سرخوشه‌ها نیز کنترل می‌شود. پروتکل بهبود یافته EADUC، تعدادی پایدار از سرخوشه‌ها را همانطور که در شکل 2 دیده می‌شود تولید می‌کند. دلیل این مورد بررسی شعاع رقابت است که تنها یک سرخوشه در هر شعاع رقابت وجود دارد. در سناریو 1، به‌عنوان مثال مقایسه سنسورهای توزیع یکنواخت، چهار یا پنج عدد سرخوشه در هر دوره از عملیات پروتکل تولید شده و تقریبا احتمال یکسانی دارند. در سناریو 2، پنج سرخوشه محتمل‌تر وجود دارد، درحالی‌که در سناریوی 3، چهار سرخوشه محتمل‌تر وجود دارد. در طول عملیات پروتکل، گره نزدیک به BS با شعاع رقابت کوچکتر اختصاص داده می‌شود. همانطور که در سناریو 2، بیشترین تعداد گره در نزدیکی منطقه BS مستقر شده است؛ این احتمال وجود دارد تعداد بیشتری از سرخوشه‌ها نسبت به سناریو 3 تولید شود، که در آن منطقه نزدیک BS پراکنده است.

 **7.2. ارزیابی مصرف انرژی**

متوسط ​​مصرف انرژی EADUC و پروتکل بهبودیافته EADUC برای سه سناریو در نظر گرفته شده ارزیابی شد. شکل 3 به‌طور متوسط مصرف انرژی ​​در هر دور از شبکه را هنگام اجرای هر پروتکل در طول عمر خود برای سه سناریو مختلف نشان می‌دهد. مصرف انرژی هر دور شامل انرژی مصرف شده در طول خوشه جهت تشکیل توپولوژی و اطلاعات انتقال است.



مصرف انرژی متوسط ​​در پروتکل بهبودیافته EADUC 1 کمی کمتر از پروتکل EADUC و خیلی کمتر از پروتکل بهبودیافته EADUC 2 است. علاوه‌براین مصرف انرژی متوسط ​​شبکه در سناریو 3 کمی نسبت به سناریو 2 بزرگ است، چرا که در سناریو 3، منطقه نزدیک به BS است، بنابراین این احتمال وجود دارد که گره انتقال نهایی در فاصله بیشتر نسبت به BS در سناریو 2، توزیع شده باشد.



**7.3. ارزیابی انرژی باقی‌مانده شبکه**

شکل. 4 کل انرژی باقی‌مانده از شبکه در پروتکل بهبودیافته EADUC 2 را با توجه به تعداد دور در هر سناریو نشان می‌دهد.

مشاهده شده است که انرژی باقی‌مانده گره‌ها در شبکه تقریبا با نرخ یکسانی نسبت به سناریوهای 1 و 2 کاهش می‌یابد. اما کل انرژی باقی‌مانده از شبکه در سناریو 3 نسبت به سناریو 1 و 2 کمتر است. این مورد به‌دلیل مصرف انرژی بیشتر در گره‌های شبکه در سناریو 3 است و این به‌دلیل نزدیکی به منطقه BS در سناریوی 3 اتفاق می‌افتد.

**7.4. ارزیابی طول‌عمر شبکه**

طول عمر شبکه به دو روش ارزیابی شده است. یک حالت برای اندازه‌گیری دور زمانی که اولین گره می‌میرد (FND) و دیگری برای اندازه‌گیری دور زمانی که 90 درصد از گره‌ها زنده (PNA) هستند.. EADUC اصلی، HUCL و پروتکل EADUC1و2 بهبود یافته در سه سناریو اجرا شدند. همانطور که در شکل 5و6 نشان داده شده است بهبودی در طول عمر شبکه رخ داده است، FND و PNA در EADUC 1 و 2 بهبودیافته در هر سه سناریو نسبت به پروتکل‌های EADUC و HUCL بهبود یافته‌اند. پروتکل بهبودیافته EADUC 1 طول عمر شبکه را هنگامی که FND به ترتیب 12٪، 6٪، و 2 درصد است و هنگامی که PNA به ترتیب4٪، 5٪، و 2 درصد برای حالات 1، 2، و 3 در مقایسه با پروتکل EADUC است افزایش می‌دهد. طول عمر شبکه در پروتکل بهبودیافته EADUC 1 افزایش می‌یابد چرا که تعادل انرژی در شبکه بهتر است. همچنین وظیفه مسیریابی داده‌ها به BS در پروتکل بهبود یافته EADUC خیلی موثر است. میانگین به دست آمده در طول عمر شبکه در پروتکل بهبودیافته EADUC 2، FND را به‌عنوان متریک در 134٪ موارد برای سناریوی 1، 118٪ موارد برای سناریو 2 و 75٪ موارد برای سناریوی 3 در مقایسه با EADUC در نظر می‌گیرد. با اشاره به PNA به‌عنوان متریک ارزیابی طول عمر، متوسط ​​بهبود به‌دست آمده در حالات 1 و 2 و 3 حدودا به ترتیب 180٪، 167٪ و 126٪ است. طول عمر شبکه در پروتکل EADUC 2 به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است زیرا علاوه بر خوشه و روش انتقال، سربار خوشه با حفظ خوشه برای چند دور بسته به تعداد اسلاتهای‌کوچک و بزرگ به حداقل رسیده است. نتایج نشان داده شده، با 2 اسلات بزرگ و 3 اسلات کوچک مشخص شده‌اند. علاوه‌براین، پروتکل بهبود یافته EADUC 2 ما در مقایسه با پروتکل HUCL، دارای طول عمر بهتری از نظر FND و PNA است. طول عمر شبکه، FND و PNA، به ترتیب 109٪، 166٪ و 55٪ و به ترتیب 28٪، 10٪ و 9٪، در سناریوهای 1، 2 و 3 افزایش می‌یابد. این افزایش بنا به مغایرت در انتخاب سرخوشه و مسیریابی داده‌ها احساس می‌شود. تعداد پیام‌های کنترل تولید شده در پروتکل ارائه شده ما نسبت به پروتکل HUCL که از خوشه‌بندی نابرابر ترکیبی با روش لایه‌بندی استفاده می‌کند کمتر است. همچنین در طول شبیه‌سازی این چنین به‌دست می‌آید که HUCL تعداد بیشتری سرخوشه در هر دور تولید می‌کند. مقدار معمول به ترتیب 9، 11، و 6 خوشه برای سناریوهای 1، 2، و 3 در نظر گرفته شده است.





این بهبود تاثیر پروتکل پیشنهاد EADUC را از نظر حفظ تعادل انرژی و توزیع خوشه نشان می‌دهد.

**7.5. ارزیابی تعداد گره‌های زنده**

بهبود به‌دست آمده از طریق پروتکل بهبودیافته EADUC بیشتر در هر سه سناریو دیده می‌شود.شکل 7، 8 و 9، به‌ترتیب، تعداد گره زنده را با توجه به دور در سناریوهای 1، 2 و 3 نشان می‌دهد.

همانطور که مشاهده می‌شود، پروتکل بهبودیافته EADUC، به‌عنوان مثال EADUC 2، به بهره‌وری انرژی بهتر برای حفظ تعادل پروتکل‌های EADUC و HUCL رسیده است. زیرا پروتکل بهبودیافته EADUC تاثیر هر دو ارتباط داخل خوشه‌ای و درون خوشه‌ای را حین کار در نظر می‌گیرد. از نتایج چنین به دست می‌آید که پروتکل بهبودیافته EADUC قادر به رسیدگی به توزیع‌های غیریکنواخت، عدم تجانس گره و مشکل فقدان انرژی است.



**8. نتیجه‌گیری**

در این مقاله، یک پروتکل خوشه‌بندی نابرابر توزیع‌شده و انرژی آگاه (EADUC) در جهت بهبود WSN توسعه یافته است. رویکرد خوشه‌بندی غیریکنواخت است در این مقاله به‌کار گفته شده است. خوشه‌ی ایجاد شده، اندازه‌ای نابرابر با استفاده از رقابت شعاع دارد. خوشه‌های نزدیک به BS نسبت به خوشه‌هایی که از BS دور هستند اندازه‌ی کوچکتری دارند. گره‌ها به شعاع رقابت نابرابری از طریق استفاده از عوامل متعدد مانند فاصله تا BS، انرژی باقی‌مانده و تعداد همسایه‌ها تخصیص یافته‌اند. در نتیجه، مصرف انرژی در میان سرخوشه‌ها به‌طور موثرتری متعادل است. علاوه‌براین، روش انتخاب گره‌ها برای انتقال داده به سمت BS براساس هزینه انرژی است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد طول عمر شبکه به‌طورموثر در هر سناریو طولانی مدتی به پروتکل EADUC و HUCL بستگی دارد نتیجه این مطالعه باید برای حل مشکل فقدان انرژی در شبکه‌های جمع‌آوری داده‌ها مفید باشد.





**References**

 [1] V. Mhatre, C. Rosenberg, Homogeneous vs. heterogeneous clustered networks: a comparative study, Proc. IEEE, ICC 6 (2004) 3646–3651.

 [2] C.Y. Chang, H.R. Chang, Energy aware node placement, topology control and MAC scheduling for wireless sensor networks, Comp. Netw. 52 (2008) 2189– 2204.

 [3] X. Gu, J. Yu, D. Yu, G. Wang, Y. Lv, ECDC: an energy and coverage-aware distributed clustering protocol for wireless sensor networks, Comp. Electr. Eng. 40 (2014) 384–398.

[4] J. Mao, Z. Wu, X. Wu, A TDMA scheduling scheme for many-to-one communications in wireless sensor networks, Comp. Commun. 30 (2007) 863–872.

 [5] P. Ayona, A. Rajesh, Investigation of energy efficient sensor node placement in railway systems, Eng. Sci. Technol. Int. J. (2015), doi:10.1016/j.jestch.2015.10 .009.

[6] V. Kaundal, A.K. Mondal, P. Sharma, K. Bansal, Tracing of shading effect on underachieving SPV cell of an SPV grid using wireless sensor network, Eng. Sci. Technol. Int. J. 18 (2015) 475–484.

[7] S. Bandyopadhyay, E.J. Coyle, An energy efficient hierarchical clustering algorithm for wireless sensor networks, IEEE INFOCOM, 2003, pp. 1713– 1723.

 [8] S. Soro, W.B. Heinzelman, Prolonging the lifetime of wireless sensor networks via unequal clustering. Proc. of the 19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS), USA, 2005, doi:10.1109/ IPDPS.2005.365.

[9] M. Ye, C. Li, G. Chen, J. Wu, EECS: An energy efficient clustering scheme in wireless sensor networks, IEEE International Conference on Performance, Computing, and Communications, 2005, pp. 535–540.

 [10] S. Soro, W.B. Heinzelman, Cluster head election techniques for coverage preservation in wireless sensor networks, Ad Hoc Netw. 7 (2009) 955–972.

 [11] W.B. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, Energy efficient communication protocol for wireless microsensor networks. Proc. 33rd Hawaii Intl Conference on System Sciences (HICSS’00), 2000, pp. 8020–8029.

 [12] A.F. Liu, W.X. You, C.Z. Gang, G.W. Hua, Research on the energy hole problem based on unequal cluster-radius for wireless sensor networks, Comp. Commun. 33 (2010) 302–321.

[13] N. Vlajic, D. Xia, Wireless sensor networks: to cluster or not to cluster? Proc. of the International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, 2006.

 [14] M. Liu, J. Cao, G. Chen, X. Wang, An energy aware routing protocol in wireless sensor networks, Sensors 9 (2009) 445–462.

 [15] S.H. Kang, T. Nguyen, Distance based thresholds for cluster head selection in wireless sensor networks, IEEE Commun. Lett. 16 (9) (2012) 1396–1399.

[16] V. Mhatre, C. Rosenberg, Design guidelines for wireless sensor networks: communication, clustering and aggregation, Ad Hoc Netw. 2 (1) (2004) 45– 63.

[17] M. Perillo, Z. Cheng, W. Heinzelman, On the problem of unbalanced load distribution in wireless sensor networks. Proc. of IEEE GLOBECOM Workshops on Wireless Ad hoc and sensor networks, Dallas, TX, 2004, pp. 74–79.

 [18] O. Younis, S. Fahmy, HEED: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks, IEEE Trans. Mobile Comput. 3 (4) (2004) 366–379.

 [19] B. Tavli, Energy-efficient relaying in wireless networks, Int. J. Electron. Commun. 63 (2009) 695–698.

 [20] W.B. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks, IEEE Trans. Wirel. Commun. 1 (4) (2002) 660–670.

 [21] R.C. Carrano, D. Passons, L.C.S. Maglhaes, V.N. Albuquerque, Survey and taxanomy of duty cycling mechanisms in wireless sensor networks, IEEE Commun. Surv. Tut. 16 (1) (2014) 181–192.

 [22] F. Xiangning, S. Yulin, Improvement on LEACH protocol of wireless sensor network. Proceedings of International Conference on Sensor Technologies and Applications (Sensor Comm), 2007, pp. 260–264, doi:10.1109/ SENSORCOMM.2007.4394931.

[23] J. Yu, Y. Qi, G. Wang, X. Gu, A cluster-based routing protocol for wireless sensor networks with non-uniform node distribution, Int. J. Electron. Commun. 66 (2012) 54–61.

 [24] J. Yu, Y. Qi, G. Wang, An energy driven unequal clustering protocol for heterogeneous wireless sensor networks, J. Control Theory Appl. 9 (1) (2011) 133–139.

[25] I. Dietrich, F. Dressler, On the lifetime of wireless sensor networks, ACM Trans. Sensor Netw. 5 (1) (2009) 1–38, doi:10.1145/1464420.1464425.

[26] D. Puccinelli, M. Haenggi, Wireless sensor networks: applications and challenges of ubiquitous sensing, IEEE Circuits Syst. Mag. (2005) 19–29.

 [27] N.H. Mak, How long is the lifetime of wireless senor network? Proc. IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications, 2009, pp. 763–770.

[28] M. Haenggi, Energy-balancing strategies for wireless sensor networks, Proc. IEEE Symp. Circuit. Syst. (ISCAS) 4 (2003) 828–831, doi:10.1109/ISCAS.2003 .1206348.

 [29] J. Lian, K. Naik, G. Agnew, Data capacity improvement of wireless sensor networks using non-uniform sensor distribution, Int. J. Distrib. Sens.Netw. 2 (2) (2006) 121–145.

[30] X. Wu, G. Chen, S.K. Das, Avoiding energy holes in wireless sensor networks with nonuniform node distribution, IEEE Trans. Parall. Distr. Syst. 19 (5) (2008) 710–720.

 [31] Y. Yang, M. Cardei, Movement-assisted sensor redeployment scheme for network lifetime increase, 10th ACM / IEEE International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWIM), 2007, pp. 13–20, doi:10.1145/1298126.1298132 .

 [32] W. Wang, V. Srinvasan, K. Chua, Using mobile relays to prolong the lifetime of wireless sensor networks. Proceedings of International Conference on Mobile Computing and Networking, 2005, pp.270–283, doi:10.1145/1080829.1080858.

[33] J. Luo, J.P. Hubaux, Joint mobility and routing for lifetime elongation in wireless sensor networks. Proc. of IEEE, INFOCOM 2005, pp. 1735–1746.

[34] M. Marta, M. Cardei, Improved sensor network lifetime with multiple mobile sinks, Pervasive Mob. Comput. 5 (5) (2009) 542–555.

 [35] H.M. Ammari, S.K. Das, Promoting heterogeneity, mobility, and energy-aware Voronoi diagram in wireless sensor networks, IEEE Trans. Parall. Distr. Syst. 19 (7) (2008) 995–1008.

 [36] D. Vass, Z. Vincze, R. Vida, A. Vidacs, Energy efficiency in wireless sensor networks using mobile base station, EUNICE 2005: Networks and Applications towards a Ubiquitously Connected World, 2005, pp. 173–186.

[37] J. Li, P. Mohapatra, An analytical model on the energy hole problem in manyto-one sensor networks. Proc. of IEEE Vehicular Technology Conf., Fall 2005, pp. 2721–2725.

[38] J. Wu, Y. Qi, G. Wang, Q. Guo, X. Gu, An energy aware distributed unequal clustering protocol for wireless sensor networks, Int. J. Distrib. Sens. Netw. (2011) doi:10.1155/2011/202145.

[39] J. Li, P. Mohapatra, Analytical modeling and mitigation techniques for the energy hole problem in sensor networks, Pervasive Mob. Comput. 3 (2007) 233–254.

[40] J. Jia, X. Wu, J. Chen, X. Wang, Exploiting sensor redistribution for eliminating the energy hole problem in mobile sensor networks, Eurasip J. Wirel. Commun. Netw. 1 (2012) 1–11.

 [41] L. Malathi, R.K. Gnanamurthy, K. Chandrasekaran, Energy efficient data collection through hybrid unequal clustering for wireless sensor networks, Comp. Electr. Eng. (2015) 1–13.

[42] L. Qing, Q. Zhu, M. Wang, Design of a distributed energy-efficient clustering algorithm for heterogeneous wireless sensor networks, Comp. Commun. 29 (2006) 2230–2237.

 [43] C. Song, M. Liu, J. Cao, Y. Zheng, H. Gong, G. Chen, Maximizing network lifetime based on transmission range adjustment in wireless sensor networks, Comp. Commun. 32 (2009) 1316–1325.

[44] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, S. Lu, L. Zhang, A two-tier data dissemination model for large-scale wireless sensor networks. Proceedings of IEEE / ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM, 2002, pp.148– 159.

[45] S. Olariu, I. Stojmenovic, Design guidelines for maximizing lifetime and avoiding energy holes in sensor networks with uniform distribution and uniform reporting. INFOCOM, 2006, pp.1–12.

[46] G. Ma, Z. Tao, A nonuniform sensor distribution strategy for avoiding energy holes in wireless sensor networks, Int. J. Distrib. Sens. Netw. (2013) 1– 14.

 [47] S. Halder, A. Ghosal, S.D. Bit, A pre-determined node deployment strategy to prolong network lifetime in wireless sensor network, Comp. Commun. 34 (2011) 1294–1306.

[48] A. Jarry, P. Leone, O. Powell, J. Rolim, An optimal data propagation algorithm for maximizing the lifespan of sensor networks, Proc. IEEE Int. Conf. Distrib. Comput. Sens. Syst. LNCS 4026 (2006) 405–421.

 [49] C. Li, M. Ye, G. Chen, J. Wu, An energy efficient unequal clustering mechanism for wireless sensor networks. Proceedings of IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS), 2005, pp. 596–604.

[50] J. Yu, W. Liu, J. Song, B. Cao, EEMR: An energy-efficient multi-hop routing protocol for wireless sensor networks. Proc. IEEE, 2008, pp. 291–298.

 [51] G. Chen, C. Li, M. Ye, J. Wu, An unequal cluster-based routing protocol in wireless sensor networks, Wirel. Netw. 15 (2009) 193–207, doi:10.1007/s11276-007- 0035-8.

[52] U. Hari, B. Ramachandran, C. Johnson, An unequally clustered multihop routing protocol for wireless sensor networks. Proceedings of International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), 2013, pp. 1007–1011.

[53] M.M. Afsar, M. Younis, An energy- and proximity-based unequal clustering algorithm for wireless sensor networks. Proc. of the IEEE Conference on Local Computer Networks, Edmonton, Canada, 2014, pp. 262–269.

[54] X. Fan, F. Du, Shuffled frog leaping algorithm based unequal clustering strategy for wireless sensor networks, Appl. Math. Inform. Sci. Int. J. 9 (3) (2015) 1415–1426.

[55] X. Min, S. Wei-ren, J. Chang-jiang, Z. Ying, Energy efficient clustering algorithm for maximizing lifetime of wireless sensor networks, Int. J. Electron. Commun. 64 (2010) 289–298.