الگوریتم جدید خوشه‌بندی ارسال داده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از دایره آپولونیوس

شهین پوربهرامی، الهام خالدی و لیلی محمدخانلی

چکیده: خوشه‌بندی شبکه‌های حسگر بی‌سیم، یکی از روش‌های پرکاربرد برای سازماندهی این شبکه‌ها می‌باشد. شیوه‌های مختلفی برای خوشه‌بندی این شبکه‌ها ارائه شده که هدف اکثر آنها، جلوگیری از اتلاف انرژی و افزایش طول عمر گره‌های حسگر می‌باشد. در این مقاله تلاش بر این بوده است تا یک روش جدید هندسی برای خوشه‌بندی گره‌های شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شود. در این روش هندسی، از دایره آپولونیوس برای رسم حالت انتزاعی خوشه‌ها و جمع‌کردن گره‌ها حول سرخوشه بهره گرفته شده است. این دایره به دلیل دقت بالایی که در تعیین تناسب فواصل گره‌ها دارد، با دقت خوبی می‌تواند گره‌های مربوط را به سرخوشه‌ها اختصاص داده و از ایجاد خوشه‌های تک‌گرهی یا گره‌های پرت جلوگیری کند. در این الگوریتم از یک ایستگاه اصلی، تعدادی گره به عنوان سرخوشه و تعدادی گره به عنوان مسیریاب استفاده می‌شود. هدف یافتن دقیق‌ترین سرخوشه‌ها و ایجاد خوشه‌هایی با وسعت پوششی بالا در شبکه می‌باشد. روش پیشنهادی از نظر پوشش‌دهی مؤثر شبکه، تعداد گره‌های زنده، انرژی باقیمانده شبکه و تعداد گام‌های پیموده‌شده، در مقایسه با الگوریتم‌های O_Leach و K-Means که در این زمینه ارائه شده‌اند نتیجه بهتری را نشان می‌دهد.

کلیدواژه: **دایره آپولونیوس، شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مسیریابی، خوشه‌بندی.**

۱- مقدمه

امروزه کنترل و نظارت از راه دور بر محیط‌های غیر قابل دسترس، یکی از مباحث چالش‌برانگیز در زمینه علوم کامپیوتر می‌باشد. جهت آگاهی‌یافتن از تغییرات محیط یا تغییر در وضعیت هر مجموعه، نیازمند تجهیزاتی هستیم که از طریق آنها بتوان اطلاعات مربوط به آن وضعیت را در دسترس قرار داد. این تجهیزات به عنوان حسگر شناخته می‌شوند که تغییرات مد نظر را در قالب بسته پاسخ، برای اطلاع از وجود تغییرات یا اندازه‌گیری میزان تغییرات انجام‌شده در محیط، در اختیار مرکز قرار می‌دهند. بعد از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز می‌توان عملیات مناسب را بر اساس پاسخ ارائه‌شده انجام داد [۱].

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، اطلاعات توسط گره‌های مستقر در محیط جمع‌آوری می‌شوند و به منظور تحلیل و نتیجه‌گیری به ایستگاه اصلی ارسال می‌گردند. جهت ارسال این اطلاعات به مرکز، نیاز است تا شبکه‌های حسگر، خوشه‌بندی شوند تا گره‌های مجاور با قرارگیری در یک خوشه بتوانند اطلاعات خود را به سرخوشه ارسال کرده و از این طریق اطلاعات به شیوه‌ای مناسب در شبکه به ایستگاه برسد. سرخوشه‌ها جزء گره‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشند که در واقع جمع‌کننده‌های اطلاعات از سایر گره‌ها جهت ارسال آن به ایستگاه هستند. دلیل انتخاب سرخوشه‌ها، کاهش اتلاف انرژی جهت ارسال اطلاعات توسط تک‌تک گره‌ها می‌باشد.

خصوصیات منحصربه‌فرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم سبب می‌شود تا طرح‌های انتشارداده در آنها بسیار متفاوت از سایر شبکه‌هایی باشد که تا کنون ارائه شده‌اند [۲] و [۳].

الگوریتم‌های خوشه‌بندی نقش مهمی را در رسیدن به اهداف حاصل از پیاده‌سازی شبکه‌های حسگر بازی می‌کنند. به سبب خصوصیات ویژه شبکه‌های حسگر، طراحان روش‌های خوشه‌بندی باید به ویژگی‌های زیر توجه داشته باشند:

ارتباط امن: امنیت داده‌ها به همان میزان که در شبکه‌های سنتی اهمیت دارد، در شبکه‌های حسگر بی‌سیم نیز حائز اهمیت است [۴]. فراهم‌کردن این ارتباط امن در طرح خوشه‌بندی این شبکه‌ها، به ویژه زمانی که این شبکه‌ها در کاربردهای نظامی و امنیتی به کار گرفته می‌شوند اهمیت بسیار دارد.

هزینه پایین: منابع زیادی نظیر ارتباطات و وظایف پردازشی برای ایجاد و نگهداری توپولوژی خوشه‌بندی‌های شبکه‌های حسگر نیاز است. با این حال این هزینه‌ها مسلماً برای وظایف مربوط به حسگری یا انتقال داده استفاده نمی‌شود، پس باید تلاش شود که تا حد امکان این الگوریتم، کمترین استفاده را از منابع داشته باشد.

انتخاب خوشه‌ها و سرخوشه‌ها: مواردی همچون توپولوژی و کاربرد شامل پارامترهایی از قبیل تعداد خوشه‌ها، تعداد گره‌ها در هر خوشه و حتی اندازه فیزیکی خوشه‌ها نیازمند دقت طراحان است تا با توجه به شرایط بهترین مقادیر را برای تعداد خوشه‌ها، اندازه آنها و وسعتشان در نظر بگیرند. هدف از این کار کاهش تعداد پیام‌های ارسالی و ایجاد یک پیچیدگی زمانی ثابت و مستقل از رشد شبکه است [۵].

عملکرد بلادرنگ: یکی دیگر از معیارهای اساسی در طراحی شبکه‌های حسگر بی‌سیم، طول عمر مناسب داده است. برای کاربردهایی همچون نظارت داده [۶] و [۷]، دریافت داده‌هایی ساده برای تحلیل کافی است و تأخیر در ارسال و دریافت، مسئله مهمی نمی‌باشد. این در صورتی است که در کاربردهای نظامی [۸] مسئله داده‌های بلادرنگ حیاتی می‌شود.

همگام‌سازی: محدودیت انرژی گره‌ها یکی از محدودیت‌های اصلی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است. طرح‌های انتقال مبتنی بر برش زمانی نظیر TDMA، اجازه می‌دهند تا گره‌ها در زمان‌هایی که نیاز نباشند، به خواب بروند تا مصرف انرژیشان کمتر شود. مکانیزم‌های همگام‌سازی برای راه‌اندازی و نگهداری طرح‌های خوشه‌بندی، روی شبکه و طول عمر آن مؤثر می‌باشند.

این مقاله در تاریخ ۱۲ مهر ماه ۱۳۹۷ دریافت و در تاریخ ۲۳ تیر ماه ۱۳۹۸ بازنگری شد.

شهین پوربهرامی (نویسنده مسئول)، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، (email: sh.pourbahrami@tabrizu.ac.ir).

الهام خالدی، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، (email: elhamkh14@yahoo.com).

لیلی محمدخانلی، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، (email: l-khanli@tabrizu.ac.ir).

تجمیع داده: یکی از دستاوردهای مهم شبکه‌های حسگر بی‌سیم، تجمیع داده‌های شبکه است. این امکان وجود دارد که چند گره، داده‌های مشابهی را ارسال کنند، در این حالت تجمیع داده‌ها سبب می‌شود تا بین داده‌های تکراری و داده‌های کاربردی، تفاوت قایل شویم. [۹] و [۱۰].

ترمیم خرابی: در شبکه‌های حسگر، این امکان وجود دارد که ارتباط بین گره‌ها به هر دلیلی مانند خرابی حسگرها یا اتمام انرژی از بین برود. پس الگوریتم‌های خوشه‌بندی بایستی راه حل مناسبی جهت ترمیم ارتباط ارائه دهند تا داده قابل اطمینان، انتقال یابد [۱۱].

کیفیت سرویس: در هنگام طراحی الگوریتم‌های خوشه‌بندی باید معیارهای کیفیت سرویس رعایت شوند که اغلب با توجه به کاربرد تعریف می‌شوند.

در این مقاله بر روی ویژگی‌های انتخاب خوشه‌ها و سرخوشه‌ها تمرکز شده است. چرا که بحث انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم و تحقیق‌ها بر روی کاهش افت انرژی این شبکه‌ها و افزایش طول عمر آنها و همچنین دقت مسیریابی ارسال داده، وابستگی زیادی به انتخاب صحیح خوشه‌ها و سرخوشه‌ها دارد که همچنان بحثی مهم و پرچالش می‌باشد.

الگوریتم‌های خوشه‌بندی دارای اهداف گوناگونی هستند که در اینجا به چند هدف مهم اشاره می‌کنیم:

استحکام بالا: خوشه‌بندی معمولاً از تغییراتی نظیر افزایش تعداد گره‌ها، حرکت گره‌ها و خرابی غیر قابل پیش‌بینی پشتیبانی می‌کند. همچنین وجود چندین نسخه از یک داده که در سرخوشه‌ها و حسگر در جریان است می‌تواند استحکام را افزایش دهد.

توازن بار: توازن بار یک معیار ضروری برای افزایش طول عمر شبکه محسوب می‌شود. توزیع حسگرها در میان خوشه‌ها عامل اصلی تشکیل خوشه‌ها می‌باشد، به طوری که سرخوشه‌ها پردازش داده و وظایف مهم مدیریت را به خوبی انجام دهند [۱۲] و [۱۳].

افزایش ارتباط و کاهش تأخیر: ارتباطات چندسطحی در خوشه‌بندی و نیاز به ارتباط سرخوشه‌ها با یکدیگر و با ایستگاه پایه سبب می‌شود تا ارتباطات لازم بین گره‌ها با هم برقرار شود. تنظیم تعداد پرش‌ها موجب می‌شود تا تأخیر ارسال نیز کاهش یابد [۱۴].

بیشترین طول عمر شبکه: از آنجایی که گره‌های حسگر از نظر انرژی، پهنای باند، ارتباط و توانایی پردازش محدودیت‌های زیادی دارند، افزایش طول عمر شبکه یک نکته ضروری در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است. سرخوشه‌ها حتی‌الامکان باید به اعضای خوشه‌شان نزدیک باشند، بنابراین از مهم‌ترین اهداف یک الگوریتم خوشه‌بندی تعیین سرخوشه‌ها به نحوی است که انرژی مورد نیاز برای ارتباط بین خوشه‌ها کمترین باشد [۱۵] تا [۱۷]. همچنین خوشه‌بندی با ایجاد طرح سلسله‌مراتبی گره‌ها و سرخوشه، سبب می‌شود تا گره‌های کمتری ارتباطات بلند بُرد رادیویی را انجام دهند و بدین ترتیب انرژی مصرفی کل شبکه کاهش می‌یابد.

پیشنهاد یک روش نوین برای خوشه‌بندی جزء نوآوری‌های اصلی این مقاله هست که مزیت و کارایی آن در مقایسه با الگوریتم‌های متداول خوشه‌بندی، استفاده از روشی هندسی با دقت بالای بررسی فاصله و فضای ارتباطی بین گره‌ها است که دقت روش پیشنهادی را نسبت به روش‌های ذکرشده در مقاله افزایش می‌دهد. در روش پیشنهادی از روش هندسی دایره آپولونیوس به عنوان یک الگوریتم پیش‌برنده و بسیار دقیق برای انتخاب سرخوشه‌های اصلی و خوشه‌بندی گره‌های اطراف آنها استفاده شده است. در روش پیشنهادی سعی بر این شده که خوشه‌بندی‌ها در مرحله اول بسیار دقیق انجام شود و در مراحل بعدی فقط سرخوشه در هر خوشه تغییر کند و این انتساب به گره‌ها با انرژی بیشتر منتقل شود. این کار تا حد زیادی می‌تواند جلوی اتلاف انرژی در خوشه‌بندی‌های مکرر را بگیرد. روش پیشنهادی با استفاده مؤثر از شیوه هندسی دایره آپولونیوس و در پی آن با تأثیرگیری هر خوشه حین خوشه‌بندی از سرخوشه‌های همسایه، موجب شده که گره‌های بیشتری خوشه‌گذاری شده و پوشش‌دهی بهتری نسبت به دو روش دیگر داشته باشد.

پیشنهاد ما استفاده از یک روش خوشه‌بندی هندسی است. در این روش، خوشه‌بندی بر اساس دایره آپولونیوس با دقت بالا انجام می‌گیرد. طبق این روش، در لحظات اول مسیریابی برای ارسال داده، فضای شبکه حسگر به چندین خوشه تقسیم‌بندی می‌شود و با انتخاب سرخوشه، ارسال اطلاعات انجام می‌گیرد. هدف این است که گره‌ها، انرژی کمتری برای ارسال داده مصرف کنند و در نتیجه، طول عمر شبکه، افزایش و ترافیک انرژی کل شبکه کاهش یابد. این الگوریتم در فضاهای با مقیاس بزرگ خوب عمل می‌کند. در روش پیشنهادی سعی شده تا بر روی "بیشترین طول عمر شبکه" و "پوشش‌دهی تمام شبکه" به عنوان یک هدف اساسی الگوریتم‌های خوشه‌بندی تمرکز شود چرا که با توجه به هندسی‌بودن روش ارائه‌شده، دقت کار خوشه‌بندی در پوشش سراسری و مصرف انرژی کمتر گره‌ها برای ارتباط با سرخوشه محقق خواهد شد و در نهایت انرژی مصرفی کل شبکه کاهش می‌یابد.

در ادامه مقاله، بخش‌ها بدین صورت سازمان‌دهی می‌شوند که در بخش ۲ تحقیق‌های پیشین صورت‌گرفته مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش ۳ روش پیشنهادی بر اساس دایره آپولونیوس در این مقاله توضیح داده می‌شود. در بخش ۴ نتایج آزمایش‌ها و مقایسه‌هایی که با روش‌های معروف همانند اپسیلون همسایگی و k-نزدیک‌ترین همسایگی در این زمینه انجام شده است، نشان داده می‌شود و در بخش ۵، جمع‌بندی نهایی از مقاله انجام می‌شود.

۲- تحقیق‌های پیشین انجام‌شده

شبکه‌های حسگر بی‌سیم برای این که بتوانند اطلاعات را از گره‌های حسگر بی‌سیم پراکنده در محیط جمع کنند، نیاز دارند انرژی باتری‌ها را حفظ کنند تا شبکه از بین نرود [۱۸]. پس انتخاب سرخوشه یک موضوع کلیدی برای ارائه روش‌های خوشه‌بندی در این نوع شبکه‌ها است [۱۹].

به دلیل ماهیت انتقال‌های زیاد در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، ترافیک ارتباطات و داده‌ها در نزدیکی چاهک بیشتر می‌شود [۲۰]. تکنولوژی شبکه‌های حسگر بی‌سیم برای محیط‌هایی از سیستم‌های مکانیکی میکروالکترونیکی، برای حسگرهای هوشمند، ارزان و کوچک طراحی شده که در محیط‌های نظامی و غیر نظامی استفاده می‌شوند [۱۸]. الگوریتمی که توسط ثابت و همکاران [۲۱] ارائه شد موجب می‌شود که گره‌ها انرژی زیادی را برای ارسال مستقیم داده‌های خود به ایستگاه صرف نکنند و همچنین ترافیک شبکه در اطراف چاهک کاهش یابد و کارایی شبکه را افزایش می‌دهد. هر گره حسگر از ۴ عضو اصلی تشکیل می‌شود: واحد حسگر، واحد پردازش، واحد ارتباطات و واحد قدرت [۱۸]. الگوریتم‌های شبکه‌های حسگر شامل دو فاز است: فاز تنظیمات و فاز ارسال داده که هر گره طی این دو فاز در طول عمر شبکه ایفای نقش می‌کند. خوشه‌بندی به روش دایره آپولونیوس روشی دیگر برای کاهش انرژی وارد بر شبکه و افزایش کارایی است. روش‌های مختلفی برای دسته‌بندی الگوریتم‌های خوشه‌بندی وجود دارد که دو دسته‌بندی رایج برای الگوریتم‌های خوشه‌بندی شبکه‌های حسگر بی‌سیم عبارتند از [۲۱]: ۱) الگوریتم‌های خوشه‌بندی شبکه‌های همگن و ناهمگن و ۲) الگوریتم‌های خوشه‌بندی متمرکز و توزیع‌شده. الگوریتم LEACH-C یک

طرح خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی متمرکز است که در آن ایستگاه پایه وظیفه انتخاب سرخوشه‌ها را بر عهده دارد [۲۲]. از آنجایی که ایستگاه پایه اطلاعات جامع و کاملی از گره‌ها و محیط دارد، می‌تواند مناسب‌ترین گره‌ها را به عنوان سرخوشه انتخاب کند. در این روش هر گره، موقعیت و سطح انرژی خود را به ایستگاه پایه ارسال می‌کند. ایستگاه پایه، میانگین انرژی گره‌ها را محاسبه کرده و گره‌هایی را که سطح انرژی آنها از میانگین کمتر باشد کنار می‌گذارد و بقیه گره‌ها را برای انتخاب سرخوشه در الگوریتم شبیه‌ساز حرارت استفاده می‌کند.

الگوریتم GABEEC یک روش خوشه‌بندی انرژی- کارامد می‌باشد. این روش خوشه‌بندی گره‌ها را به کمک الگوریتم ژنتیک انجام می‌دهد [۲۳]. این الگوریتم شامل دو مرحله است. مرحله راه‌اندازی که شامل تشکیل خوشه‌ها و انتخاب سرخوشه است. این الگوریتم به نحوی است که در آن خوشه‌ها ثابت می‌باشند و در طول عمر شبکه تغییر داده نمی‌شوند ولی انتخاب سرخوشه‌ها از بین گره‌های همان خوشه تغییرپذیر است. مرحله دوم حالت پایدار است که در آن به کمک پروتکل TDMA به سرخوشه ارسال می‌شوند و سرخوشه‌ها بعد از جمع‌کردن داده‌ها آنها را به ایستگاه اصلی می‌فرستند. در این روش از الگوریتم ژنتیک برای انتخاب سرخوشه‌ها استفاده می‌شود.

الگوریتم GCDC یک روش خوشه‌بندی متمرکز با قابلیت تعویض خوشه‌ها است که هدف آن، افزایش طول عمر شبکه از طریق کاهش متوسط انرژی مصرفی گره‌های حسگر می‌باشد، بنابراین تمامی گره‌های شبکه امکان سرخوشه‌شدن را دارند [۲۴]. به منظور رسیدن به هدف مذکور و همچنین تضمین پوشش کامل شبکه، به طوری که سرخوشه‌ها در تمام نقاط شبکه توزیع شوند، از الگوریتم ژنتیک بهره گرفته شده تا در هر مرحله‌ای گره‌های مناسب را به منظور سرخوشه‌شدن تعیین نماید.

در O_LEACH حسگرها اطلاعات خود را به سرخوشه مربوطشان ارسال کرده و سپس سرخوشه‌ها داده‌های دریافتی را جمع‌آوری و فشرده کرده و در قالب یک بسته به سمت ایستگاه اصلی می‌فرستند [۱۸]، [۲۵] و [۲۶]. هر گره از یک الگوریتم تصادفی برای تعیین این که آیا در چرخه جاری نقش سرخوشه را بگیرد یا خیر استفاده می‌کند. LEACH فرض می‌کند که هر گره توان رادیویی لازم برای ارسال به پایگاه اصلی یا نزدیک‌ترین سرخوشه را دارد (هرچند استفاده از حداکثر توان رادیویی به صورت مداوم سبب هدررفتن انرژی می‌شود). گره‌هایی که سرخوشه می‌شوند تا p چرخه نمی‌توانند دوباره نقش سرخوشه را بگیرند. p درصد دلخواهی از تعداد خوشه‌هاست و بنابراین در هر چرخه هر گره با احتمال $1/p$ امکان دارد سرخوشه شود. در پایان هر چرخه، گره‌هایی که سرخوشه نیستند نزدیک‌ترین سرخوشه به خود را انتخاب کرده و به خوشه مربوط به آن می‌پیوندند. سپس هر سرخوشه برای هر گره عضو خوشه‌اش یک جدول زمان‌بندی جهت مشخص‌کردن زمان ارسال داده، ایجاد می‌کند (هر گره فقط در زمان مشخص‌شده می‌تواند به سرخوشه اطلاعات ارسال کند). تمام گره‌های غیر سرخوشه، تنها از طریق پروتکل TDMA با سرخوشه ارتباط برقرار می‌کنند و این کار را با توجه به جدول زمان‌بندی ساخته‌شده توسط سرخوشه انجام می‌دهند. برای هدرنرفتن انرژی، گره‌ها تنها در اسلات زمانی اختصاصی مشخص‌شده رادیوهایشان را روشن نگه می‌دارند. در LEACH از متد دسترسی به رسانه CDMA نیز استفاده می‌شود، هر خوشه از کدهای متفاوت CDMA استفاده می‌کند تا بدین ترتیب تداخل بین خوشه‌ها کمینه شود. در نسخه اصلی این پروتکل به علت این که تمام گره‌ها با احتمالی ثابت به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند ممکن است برخی از گره‌های حسگر نامناسب نیز انتخاب گردند که این امر باعث ایجاد هزینه‌های اضافی می‌شود. در این پروتکل ممکن است خوشه‌هایی با تنها یک عضو ایجاد شوند که در این صورت به دلیل ارسال مستقیم اطلاعات به ایستگاه اصلی، انرژی این گره‌ها به سرعت تمام خواهد شد. این در حالی است که این خوشه‌ها می‌توانند با ادغام با خوشه‌های مجاور از بین بروند. از آنجا که انتخاب سرخوشه‌ها در این روش تصادفی است، ممکن است برخی از انتخاب‌ها باعث مصرف سریع انرژی بعضی از گره‌های حسگر مهم که در شبکه نقش اتصال بین دو زیرشبکه را دارند شده و این مسئله سبب گسسته‌شدن شبکه شود. در روش O_LEACH که حالت بهبودیافته‌ای از الگوریتم LEACH اصلی می‌باشد گره‌هایی به عنوان گره‌های میعادگاه در نظر گرفته شده است [۱۸]. این گره‌ها که در حالت کلی در مراحل خوشه‌بندی شرکت نمی‌کنند (نه به عنوان سرخوشه انتخاب شده و نه گره زیرخوشه می‌شوند)، در محدوده مشخص‌شده از مسیر سینک قرار دارند و اطلاعات جمع‌بندی شده از سرخوشه‌ها را دریافت کرده و در زمان مناسب به سینک تحویل می‌دهند. این امر افت انرژی سرخوشه‌ها به خاطر ارسال به سینک که ناشی از ارسال مستقیم داده در فاصله‌های زمانی کوتاه و فاصله‌های مکانی طولانی هستند را کاهش می‌دهد.

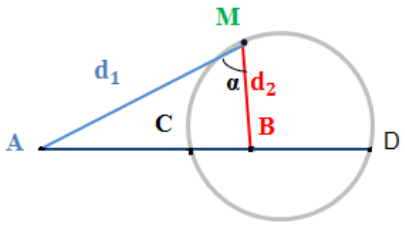
در الگوریتم O_LEACH از ایستگاه پایه متحرک و گره‌هایی به نام گره‌های میعادگاه که در راستای مسیر حرکت ایستگاه اصلی و در یک گامی آن قرار دارند، نام‌برده شده است. این گره‌ها در هیچ خوشه‌بندی شرکت نکرده و به عنوان سرخوشه نیز دخالت داده نمی‌شوند. تنها وظیفه گره‌های میعادگاه دریافت اطلاعات از سرخوشه‌ها برای ارسال مستقیم به ایستگاه در زمانی که ایستگاه اصلی به آنها نزدیک شده است می‌باشد [۱۸].

روش K-Means یکی از روش‌های خوشه‌بندی داده‌ها در شبکه‌های حسگر است و روشی انحصاری و مسطح محسوب می‌شود [۲۶]. برای این الگوریتم شکل‌های مختلفی بیان شده است ولی همه آنها دارای روالی تکراری هستند که برای تعدادی ثابت از خوشه‌ها سعی در تخمین موارد زیر دارند:

به دست آوردن نقاطی به عنوان مراکز خوشه‌ها که این نقاط در واقع همان میانگین نقاط متعلق به هر خوشه هستند. نسبت‌دادن هر نمونه داده به یک خوشه که آن داده کمترین فاصله تا مرکز آن خوشه را دارا باشد. در الگوریتم K-means ابتدا K عضو (که K تعداد خوشه‌ها است) به صورت تصادفی از میان n عضو به عنوان مراکز خوشه‌ها انتخاب می‌شود و سپس $n-K$ عضو باقیمانده به نزدیک‌ترین خوشه تخصیص می‌یابند. بعد از تخصیص همه اعضا مراکز خوشه مجدداً محاسبه می‌شوند و با توجه به مراکز جدید به خوشه‌ها تخصیص می‌یابند و این کار تا زمانی که مراکز خوشه‌ها ثابت بماند ادامه می‌یابد.

۳- روش پیشنهادی

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به دلیل محدودیت‌های گره‌های تشکیل‌دهنده شبکه، همچون طول عمر کوتاه باتری‌ها و انرژی محدود و همچنین برد رادیویی کوتاه این گره‌ها، نیاز به خوشه‌بندی گره‌ها جهت مسیریابی ارسال داده می‌باشد. در راستای ایجاد نظم دقیق خوشه‌بندی، روش‌های توزیع‌شده و متمرکز بسیاری ارائه شده‌اند که دقت کافی در انتخاب سرخوشه‌ها را دارا نبودند. با توجه به ویژگی‌های دایره آپولونیوس این روش هندسی می‌تواند یکی از دقیق‌ترین و کاربردی‌ترین شیوه‌های انتخاب سرخوشه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم باشد. در خوشه‌بندی شبکه‌های حسگر، گره‌ها می‌توانند به صورت تصادفی و یا توسط



شکل ۱: نسبت‌های AM و MB در یک دایره آپولونیوسی.

سیستم‌های هوشمند در محیط توزیع و جایگذاری شوند. در کاربردهای گره‌های حسگر بی‌سیم، نرخ توزیع گره‌ها غیر یکنواخت است.

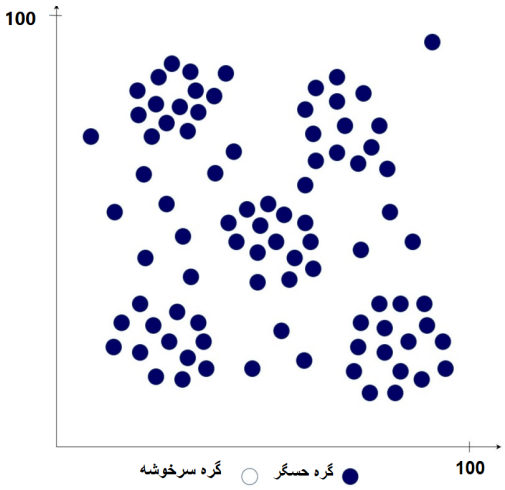
بررسی دقیق تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که آن روش‌ها به تراکم گره‌ها توجهی نداشته و تنها میزان انرژی باقیمانده گره‌های حسگر و فاصله تا ایستگاه اصلی در بسیاری از آنها به عنوان معیار تأثیرگذار در انتخاب سرخوشه و خوشه‌بندی در نظر گرفته شده است. در مسئله به کارگیری گره‌های حسگر بی‌سیم جهت ارسال داده، تراکم گره‌ها در محیط شبکه یکسان نیست. به همین دلیل استفاده از روش‌هایی که توزیع گره‌ها را یکنواخت در نظر گرفته‌اند، پاسخگوی خوشه‌بندی دقیق نخواهد بود. همچنین روش پیشنهادی دارای الگوریتم هندسی است که در الگوریتم‌های قبلی روش هندسی قوی که بتواند دقت کار را بالا ببرد استفاده نشده است.

در کارهای پیشین انجام‌شده در زمینه خوشه‌بندی از جمله الگوریتم LEACH که از الگوریتم‌های قدیمی در خوشه‌بندی شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد و همچنین روش‌های بهبودیافته آن [۱۸]، [۲۵] و [۲۷]، توجهی به پراکندگی غیر یکنواخت تراکم گره‌ها در محیط نشده است. با اجرای این الگوریتم‌ها در محیط با تراکم غیر یکنواخت، ناظر کاهش کارایی انتخاب خوشه‌ها و سرخوشه‌ها می‌شویم. بنابراین در روشی که ارائه می‌کنیم از دایره آپولونیوس استفاده شده که دقت انتخاب سرخوشه و به دنبال آن انتخاب خوشه‌ها با توجه به تأثیر پوششی سرخوشه‌های دیگر روی سرخوشه مورد نظر و توزیع غیر یکنواخت گره‌های حسگر، بالا می‌باشد. سایر قسمت‌های روش ارائه‌شده مانند مقداردهی اولیه مرحله خوشه‌بندی و مرحله مسیریابی (به دلیل این که هدف ما در این روش فقط ارائه یک رویکرد خوشه‌بندی است) برگرفته از روش جدید ارائه‌شده در این زمینه با نام الگوریتم O_LEACH است.

روش کار روش پیشنهادی ما به این شکل است که در یک شبکه حسگر تعداد زیادی گره حسگر و یک ایستگاه پایه می‌باشد که از قبل مکان‌یابی شده‌اند. اطلاعات مربوط به مکان و انرژی اولیه گره‌ها را داریم. فرض ما این است که مکان تمامی گره‌ها بعد از جایگذاری در محیط ثابت است. شبکه مورد نظر یک شبکه همگن می‌باشد زیرا تمامی گره‌های حسگر استفاده‌شده دارای انرژی اولیه یکسان بوده و قابلیت پردازشی و حافظه یکسان دارند.

همان طور که می‌دانیم در خوشه‌بندی شبکه‌های حسگر بی‌سیم هرچه گره‌ها به سرخوشه خود نزدیک‌تر باشند، مصرف انرژی تا حد زیادی کاهش پیدا می‌کند و دیگر نیازی نیست که تمامی گره‌ها برد بلند رادیویی و انرژی بالایی برای ارسال به ایستگاه اصلی داشته باشند. بنابراین در این بخش از مقاله، خوشه‌بندی گره‌های حسگر را با استفاده از دایره آپولونیوس که یک الگوریتم خوشه‌بندی هندسی مبتنی بر فاصله می‌باشد، انجام می‌دهیم و اندازه مصرف انرژی و میرایی گره‌ها را محاسبه می‌کنیم.

روش پیشنهادی با استفاده از دایره آپولونیوس اقدام به خوشه‌بندی شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌کند [۲۸]. هدف یافتن مجموعه بهینه سرخوشه‌ها است که پوشش‌دهی کامل شبکه را داشته باشد.



شکل ۲: قرارگیری گره‌ها در یک شبکه حسگر.

تعریف دایره آپولونیوس: دایره آپولونیوس طبق (۱) مکان هندسی نقاطی از صفحه اقلیدسی می‌باشد که نسبت فاصله‌هایشان از دو نقطه ثابت فرضی A و B مقدار ثابت $k \neq 0$ باشند. توجه کنید این دایره، پاره‌خط AB را به نسبت k تقسیم می‌کند. شکل ۱ نمایشی از نسبت‌های AM و MB در دایره‌ی آپولونیوس است [۲۸].

$$\frac{d(A,M)}{d(M,B)} = \frac{d_1}{d_2} = k \qquad (۱)$$

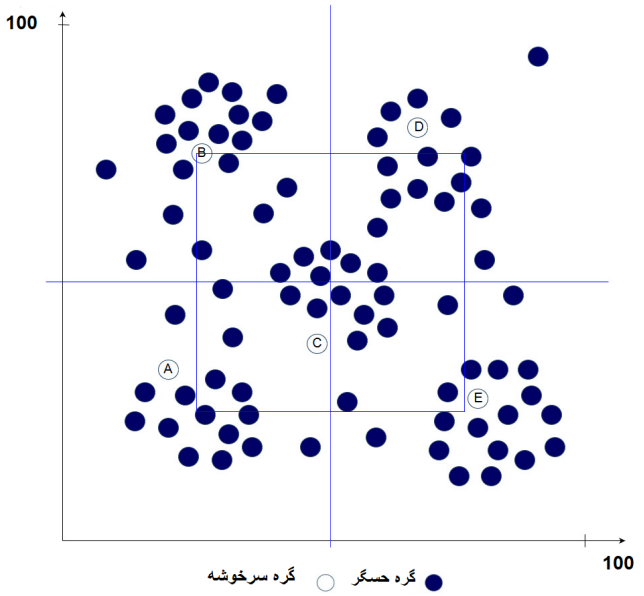
در ارائه این الگوریتم فرض شده که الف) گره‌های حسگر در یک محیط مربعی پراکنده می‌شوند، ب) باتری حسگرها غیر قابل تعویض و محدود است، ج) چاهک از نظر مکانی ثابت است و هیچ محدودیت انرژی ندارد، د) تمام گره‌ها، غیر قابل حرکت هستند، ه) تمام گره‌ها موقعیت مکانی خود را می‌دانند و از انرژی باقیمانده خود اطلاع دارند و و) انرژی اولیه کلیه گره‌ها به یک اندازه است. از مزایای روش پیشنهادی این است که چون خوشه‌ها در ابتدا تعیین می‌شوند و تا پایان کار الگوریتم ثابت می‌مانند، در مراحل بعدی انرژی برای خوشه‌بندی مجدد صرف نخواهد شد و کارایی و طول عمر شبکه افزایش خواهد یافت. مراحل اجرای الگوریتم پیشنهادی با پیچیدگی محاسباتی $O(n \log n)$ به صورت زیر می‌باشد:

گام اول، قرارگیری گره‌ها: در ابتدا گره‌ها به صورت تصادفی در محیط قرار می‌گیرند. شکل ۲ مختصات قرارگیری تصادفی گره‌ها در یک شبکه حسگر را به صورت دوبعدی نشان می‌دهد.

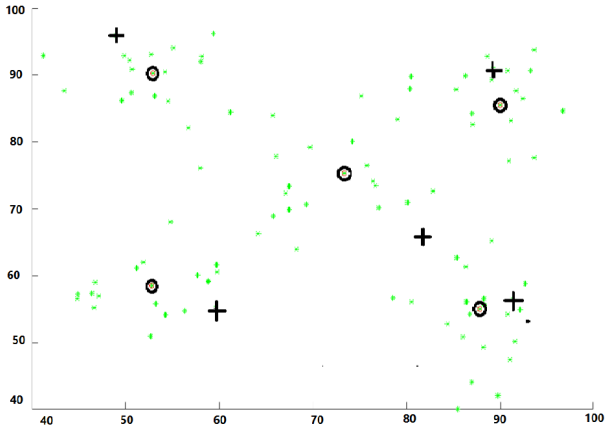
گام دوم، انتخاب سرخوشه‌های تصادفی و گره‌های مربوط: در این گام مطابق شکل ۳، ناحیه شبکه مورد نظر به ۵ قسمت تقسیم‌بندی می‌شود و ۵٪ از گره‌ها به طور تصادفی به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند. گره‌های اطراف هر سرخوشه بر اساس فاصله‌ای که با هر سرخوشه دارند می‌توانند به نزدیک‌ترین سرخوشه متصل شوند. این کار برای ایجاد خوشه‌های اولیه انجام می‌شود.

گام سوم: بعد از انتخاب سرخوشه‌های تصادفی و بعد از این که گره‌های مربوط به هر خوشه مشخص شدند، الگوریتم اقدام به پیکربندی شبکه می‌کند. برای این منظور الگوریتم پیشنهادی که در ادامه توضیح داده می‌شود، شروع به ایجاد مجموعه‌های بهینه با سرخوشه‌های جدید می‌کند.

همان طور که در شکل ۴ نشان داده است در روش پیشنهادی، فاصله سرخوشه‌ها نسبت به هم اندازه‌گیری و مرتب می‌شوند. هر سه سرخوشه با هم وارد فاز عملیات می‌گردند. در ابتدا سه سرخوشه A، B و C که



شکل ۳: انتخاب تصادفی ۵٪ از گره‌های شبکه به عنوان سرخوشه.

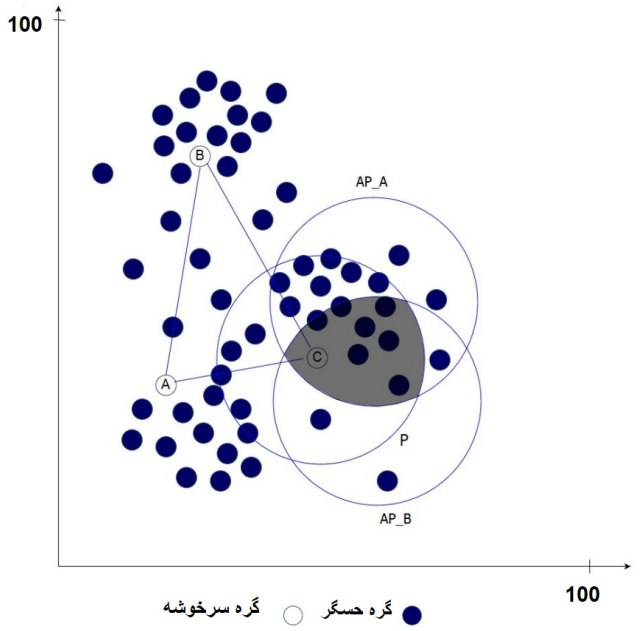


+ سرخوشه تصادفی اولیه و o سرخوشه انتخابی نهایی

شکل ۵: انتخاب سرخوشه‌ها با دایره آپولونیوس.

کمترین فاصله را از هم دارند، برای خوشه‌بندی انتخاب می‌شوند. گره C اولین سرخوشه‌ای است که در محاسبات برای تعیین سرخوشه اصلی خوشه مد نظر شرکت می‌کند. حول نقطه C دایره‌ای به شعاع همسایگی زده می‌شود و تعدادی گره به صورت خودکار در این ناحیه قرار می‌گیرند. سپس با استفاده از (۱) دایره آپولونیوس بین سرخوشه‌های B و C زده می‌شود (در شکل ۴ با عنوان AP_B نشان داده شده است). در این مرحله k نسبت BM به AM است و با در نظر گرفتن نقطه فرضی M بعد از آزمون و خطا عددی ثابت برابر با ۰٫۸۵ در نظر گرفته شده که این امر موجب می‌شود برای کشیدن دایره آپولونیوس گره متمرکز، گره اول یعنی C باشد و سهولت در محاسبات را به همراه داشته باشد.

همین عملیات را برای رسم دایره مربوط به گره A نیز انجام می‌دهیم. اشتراک ۳ محیط ایجادشده در شکل با رنگ خاکستری مشخص شده است. برای این مرحله الگوریتم K-means جهت پیداکردن سرخوشه اصلی و اشتراک همسایگی و آپولونیوس مورد استفاده قرار گرفته است. به این شکل که فاصله تمامی نقاط موجود در ناحیه خاکستری‌رنگ نسبت به گره C محاسبه و میانگین‌گیری می‌شود. نزدیک‌ترین عدد فاصله گره‌ها به C که بسیار به میانگین به دست آمده نزدیک باشد به عنوان فاصله نهایی در نظر گرفته شده و گرهی که این فاصله از C را دارد سرخوشه اصلی خوشه C است. همین کار برای گره‌های B و A نیز انجام می‌گیرد و



شکل ۴: عملیات انتخاب یک سرخوشه با استفاده از دایره آپولونیوس و روش K-means.

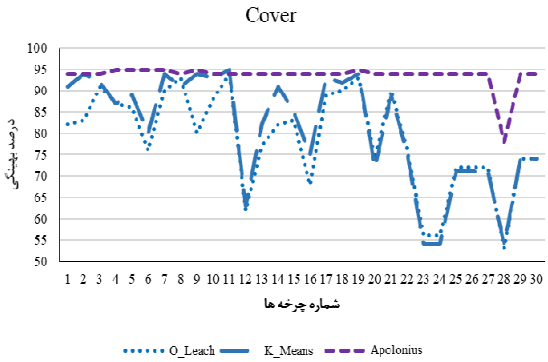
سرخوشه‌های اصلی مشخص می‌گردند. لازم به ذکر است که در هر مرحله از این الگوریتم برای رسم دایره‌های آپولونیوس از سرخوشه‌های تصادفی اولیه استفاده می‌شود و سرخوشه‌های اصلی که بعد از محاسبات تعیین می‌شوند صرفاً نقش گره معمولی را دارند تا محاسبات به اتمام برسد و تمامی سرخوشه‌ها نمایان گردند و گره‌های هر خوشه به همان خوشه اختصاص می‌یابند. بعد ارسال اولین سری اطلاعات جمع‌آوری شده از محیط به سمت گره‌های میعادگاه، این گره‌ها اطلاعات را به ایستگاه اصلی می‌فرستند. این کار باعث افت انرژی گره‌ها شده و برای افزایش طول عمر گره‌های سرخوشه، مجدداً در همان خوشه‌های تعیین‌شده، عملیات انتخاب سرخوشه‌های جدید انجام می‌شود. این کار تا زمانی ادامه می‌یابد که نیمی از انرژی تمام گره‌ها مصرف شده باشد. بعد از آن شبکه مرده محسوب گردیده و انتقال اطلاعات انجام نخواهد شد.

شکل ۵ یک حالت نهایی از آزمایش انتخاب سرخوشه در محیط Matlab را برای ۱۰۰ گره حسگر نشان می‌دهد. در این شکل گره‌هایی که با علامت "+" مشخص شده‌اند سرخوشه‌های اولیه تصادفی می‌باشند و گره‌هایی که با "o" مشخص گردیده‌اند، سرخوشه‌های اصلی انتخاب‌شده با استفاده از الگوریتم پیشنهادی هستند.

٤- نتایج آزمایش‌ها

برای بررسی کارایی روش پیشنهادی در محیط‌های حسگر با تعداد گره ثابت، الگوریتم K-means و الگوریتم O_LEACH و روش پیشنهادی ارائه‌شده را شبیه‌سازی نموده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها را از نظر معیارهایی همچون انرژی کل باقیمانده شبکه، پوشش‌دهی کل گره‌های شبکه در خوشه‌بندی، گام‌های پیموده‌شده در مسیریابی‌ها و طول عمر گره‌ها را بررسی نموده و مقایسه می‌کنیم. برای مقایسه روش ارائه‌شده و پروتکل O_LEACH، ابتدا ملزومات و پارامترهای شبیه‌سازی معرفی می‌شوند و سپس نتایج شبیه‌سازی و ارزیابی عملکرد پروتکل‌ها نمایش داده می‌شود.

برای اجرای شبیه‌سازی‌ها از نرم‌افزار Matlab R۲۰۱۲b روی سیستمی با پردازنده Interl(R)Core(TM)i۳CPU با حافظه ۲ گیگابایت و سیستم عامل windows۷۶۴bit استفاده شده است.



شکل ۶: نمودار مقایسه تعداد گره‌های پوشش‌یافته در سه روش O_Leach، K-Means و Apollonius.

جدول ۱: پارامترهای استفاده‌شده در شبیه‌سازی.

پارامترها	مقادیر
اندازه محیط شبکه	۱۰۰ m^2
تعداد گره‌های حسگر	۱۰۰
تعداد ایستگاه اصلی	۱
انرژی اولیه گره‌ها	۱ ژول
برد رادیویی	۳۰ متر
تعداد سرخوشه‌ها	۵٪ تعداد گره‌های شبکه

جدول ۲: مقایسه تعداد گره‌های پوشش‌یافته در سه روش O_LEACH، K-MEANS و APOLLONIUS.

Cover	چرخه														
O_Leach	۸۲	۸۳	۹۱	۸۷	۸۶	۷۶	۹۰	۹۳	۸۰	۸۸	۹۴	۶۲	۷۷	۸۲	۸۳
K-Means	۹۱	۹۴	۹۲	۸۷	۸۹	۸۰	۹۴	۹۱	۹۴	۹۳	۹۵	۶۳	۸۲	۹۱	۸۵
Apollonius	۹۴	۹۴	۹۴	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۴	۹۵	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴
Cover	چرخه														
O_Leach	۶۸	۸۹	۹۰	۷۴	۹۰	۷۶	۵۶	۵۶	۷۲	۷۲	۷۲	۵۳	۷۴	۷۴	۷۴
K-Means	۷۵	۹۳	۹۲	۷۲	۸۹	۷۵	۵۴	۵۴	۷۱	۷۱	۷۱	۵۴	۷۴	۷۴	۷۴
Apollonius	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۹۴	۷۸	۹۴	۹۴	۹۴

محیط مورد آزمایش دارای مساحتی ۱۰۰ متر در ۱۰۰ متر با ۱۰۰ گره حسگر است که به ۵ ناحیه مساوی تقسیم می‌شود. در جدول ۱ پارامترهای استفاده‌شده در شبیه‌سازی نشان داده شده است. در این شبیه‌سازی‌ها در هر سه الگوریتم برای انتخاب سرخوشه‌های تصادفی اولیه، حالت یکسانی در نظر گرفته شده تا بتوان مقایسه دقیق از انتخاب سرخوشه‌های اصلی هر سه روش به دست آورد. این مقایسه‌ها روش پیشنهادی را بر اساس چهار معیار مورد بررسی قرار می‌دهد که عبارتند از: پوشش‌دهی شبکه حسگر بی‌سیم، تعداد گام‌های پیموده‌شده در مسیر ارسال داده، انرژی باقیمانده گره‌ها در انتهای عملیات ارسال داده در هر چرخه و تعداد گره‌های زنده در پایان عملیات شبکه در هر چرخه.

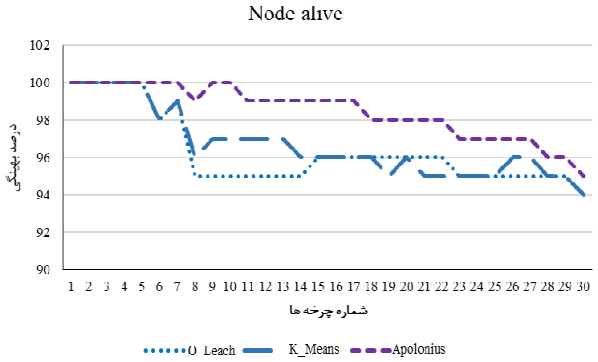
همان طور که در شکل ۶ دیده می‌شود در سه روش مورد آزمایش، پوشش‌دهی شبکه ارزیابی می‌شود. تعداد گره‌هایی که در کل شبکه خوشه‌بندی می‌شوند، نشانگر پوشش شبکه حسگر بی‌سیم می‌باشد. هرچه گره‌هایی که در خوشه‌بندی‌ها شرکت داده می‌شوند بیشتر باشد، شبکه پوشش بهتری برای رسیدن به هدف خواهد داشت. چنانچه گرهی به هر دلیلی در خوشه‌بندی شرکت نکند، از ارسال داده بازخواهد ماند و آن قسمت از شبکه قابل دسترس نخواهد بود، هرچند آن گره زنده و فعال باشد. بنابراین در روش پیشنهادی سعی بر این شده تا حد امکان، تمامی گره‌های حسگر عضو سرخوشه‌های مربوط شوند و از این طریق بتوانند ارسال داده انجام دهند. طبق آزمایش انجام‌گرفته، مشاهده می‌شود که در روش O_LEACH در طول چرخه‌های مختلف، گره‌هایی وجود دارند که خوشه‌بندی نشده باشند و پوشش‌دهی شبکه پایین بیاید. در روش K-means با توجه به این که از میانگین فاصله گره‌ها تا سرخوشه‌ها برای خوشه‌بندی استفاده شده، بنابراین وضعیت بهتر شده و گره‌های بیشتری نسبت به O_LEACH خوشه‌بندی شده‌اند. همان طور که در نمودار نیز نشان داده شده است روش پیشنهادی با استفاده مؤثر از شیوه هندسی دایره آپولونیوس و در پی آن با تأثیرگیری هر خوشه، حین خوشه‌بندی، از سرخوشه‌های همسایه، موجب شده که گره‌های بیشتری خوشه‌گذاری شده و پوشش‌دهی بهتری نسبت به دو روش دیگر داشته باشد. جدول ۲ تعداد گره‌های پوشش‌یافته در عملیات را در ۳۰ چرخه از آزمایش نشان می‌دهد.

در انتهای عملیات، هرچه گره‌های بیشتری زنده بمانند یعنی میرایی گره‌ها کمتر بوده و کل شبکه دیرتر از بین می‌رود و به مدت طولانی‌تری می‌تواند زنده بماند و اطلاعات به دست آمده از محیط را در پوشش بهتری ارسال کند. چون با مرگ هر گره دسترسی به اطلاعات محدوده آن گره تا حد زیادی از بین می‌رود و بخشی از شبکه از دسترس خارج خواهد شد.

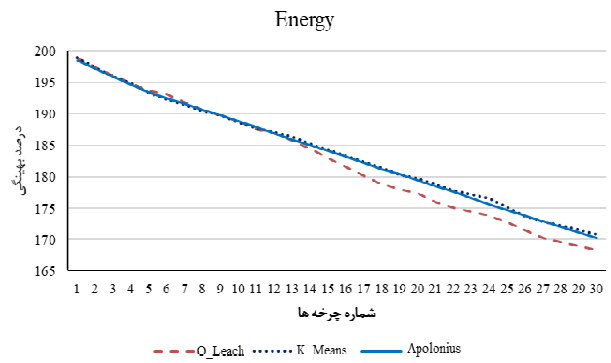
طبق شکل ۷ نشان داده شده که تعداد گره‌هایی که بعد از اجرای هر چرخه عملیات در کل شبکه زنده ماندند تقریباً در هر ۳ روش یکسان است. ولی در چرخه‌های بالاتر به دلیل این که مصرف انرژی کل شبکه کمتر است در روش پیشنهادی انتظار می‌رود که مرگ گره‌ها نیز کمتر شود. جدول ۳ تعداد گره‌های زنده در ۳۰ چرخه را نشان می‌دهد.

برای ارزیابی انرژی نهایی باقیمانده گره‌ها، روش آپولونیوس با روش K-means و روش O_LEACH مقایسه می‌شود. در این بخش از ارزیابی، تعداد گره‌های حسگر که در محیط پخش شده‌اند در هر سه روش به تعداد ۱۰۰ گره و انرژی اولیه یکسان در نظر گرفته شده است. همان طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، انرژی باقیمانده گره‌های حسگر در روش آپولونیوس نسبت به دو روش دیگر بهتر عمل می‌کند. گرچه این بهبود عملکرد، بسیار جزئی می‌باشد ولی در محیط‌های با تعداد گره بیشتر، احتمال می‌رود که باعث به جا ماندن انرژی مفید در کل شبکه شود که از این امر می‌توان در ارسال سریع‌تر و یا حجیم‌تر داده‌ها بهره برد.

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم بعد از خوشه‌بندی گره‌های حسگر، فاز مسیریابی برای ارسال داده آغاز می‌شود. در این کار طبق دستورالعمل‌هایی، زمان‌بندی ارسال داده به گره‌ها تحویل می‌شود. بر اساس این دستورالعمل، داده برای انتقال از یک گره به ایستگاه اصلی مسیری را در طول شبکه طی می‌کند که این مسیر از سرخوشه‌های



شکل ۷: مقایسه تعداد گره‌های زنده در سه روش O_Leach، K-Means و Apollonius.



شکل ۸: نمودار مقایسه انرژی باقیمانده سه روش O_Leach، K-Means و Apollonius.

جدول ۳: مقایسه تعداد گره‌های زنده در سه روش O_Leach، K-Means و Apollonius.

Node Alive	چرخه														
O_Leach	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۸	۹۹	۸۲	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵
K-Means	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۸	۹۹	۹۱	۹۶	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۶
Apollonius	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۴	۹۹	۱۰۰	۱۰۰	۹۹	۹۹	۹۹	۹۹
Node Alive	چرخه														
O_Leach	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۴
K-Means	۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	۹۵	۹۶	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۶	۹۵	۹۵	۹۴
Apollonius	۹۹	۹۹	۹۹	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۷	۹۷	۹۷	۹۷	۹۶	۹۶	۹۵

تعیین‌شده عبور خواهد کرد. طبق شکل ۹ تعداد گام‌های پیموده‌شده برای رسیدن به هدف در سه روش مورد بررسی، تقریباً یکسان به نظر می‌رسد ولی می‌توان پیش‌بینی کرد که در روش پیشنهادی ما، ممکن است در چرخه‌های بالاتر، تعداد گام‌ها اندکی بیشتر شود و انتظاری جز این نداریم.

۵- جمع‌بندی

در این مقاله سعی بر این شده تا روشی برای خوشه‌بندی شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شود تا بتوان خوشه‌بندی دقیقی برای گره‌های حسگر توزیع‌شده در محیط به کار برد و از این طریق از افت انرژی شبکه کاسته و مدت زمان فعالیت گره‌ها و ارسال داده‌های محیط را افزایش داد. در محیط‌هایی که امکان دسترسی محدود است و یا در زمان‌های متمادی نمی‌توان در محدوده مورد بررسی حضور داشت و از طرفی اطلاعات آن محدوده به حدی ارزشمند است که باید تمام داده‌های محیط مورد دسترسی قرار گیرد، این روش شیوه مناسبی می‌باشد چرا که سعی شده در این روش تمامی گره‌ها در خوشه‌بندی شرکت داده شوند و هر محدوده‌ای که گرهی در آن قرار دارد، اطلاعاتش به ایستگاه اصلی انتقال یابد.

در جهت بهبود عملکرد روش پیشنهادی در نظر داریم به عنوان کارهای آتی برای خوشه‌بندی مناسب و دقیق گره‌ها از گره‌های با انرژی اولیه متفاوت استفاده کنیم تا بتوان محیط را برای تراکم‌هایی با شرایط متفاوت از نظر حجم و وسعت داده‌ای، خوشه‌بندی کرد. همچنین می‌خواهیم از ایستگاه پایه به حالت متحرک بهره بگیریم که در محیط‌های مدیریت بحران سرعت عمل بیشتر و انرژی کمتری از شبکه گرفته شود. همچنین از ترکیب روش پیشنهادی با روش‌های یادگیری ماشین می‌توان به عنوان کارهای آتی نام برد.

مراجع

[1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer Networks*, vol. 38, no. 4, pp. 393-422, Mar. 2002.

[2] S. Bandyopadhyay and E. Coyle, "An energy efficient hierarchical clustering algorithm for wireless sensor networks," in *Proc. of the 22nd Annual Joint Conf. of the IEEE Computer and Communications Societies,* pp. 1713-1723, San Francisco, CA, USA, 30 Mar. -3 Apr. 2003.

[3] D. J. Baker and A. Epheremides, "The architectural organization of a moblie radio network via a distributed algorithm," *IEEE Trans. on Communications*, vol. 29, no. 11, pp. 1694-1701, Nov. 1981.

[4] S. Sahraoui and S. Bouam, "Secure routing optimization in hierarchical cluster-based wireless sensor networks," *International J. of Communication Networks and Information Security*, vol. 5, no. 3, pp. 178-185, Dec. 2013.

[5] A. Premkumar, A. Joseph, K. Moses, and A. chacko, "Efficient cluster head selection strategy with all pair shortest routing in networks," *IOSR J. of Computer Engineering (IOSR-JCE)*, vol. 16, no. 2, pp. 1-7, Mar./Apr. 2014.

[6] A. Mainwaring, J. Polastre, R. Szewczyk, D. Culler, and J. Anderson, "Wireless sensor networks for habitat monitoring," in *Proc. of the 1st ACM Int. Workshop on WSN,* pp. 88-97, Atlanta, GA, USA, 28-28 Sept. 2002.

[7] C. E. Nishimura and D. M. Conlon, "IUSS dual use: monitoring of whales and earthquakes using SOSUS," *Mar. Technol. Soc. J.*, vol. 27, no. 4, pp. 12-23, 1994.

[8] M. P. Durisc, Z. Tafa, G. Dimic, and V. Milutinovic, "A survey of military applications of wireless sensor networks," in *Proc. Mediterranean Conf. on Embedded Computing, MECO'12*, pp. 196-199, Bar, Montenegro, 19-21 Jun. 2012.

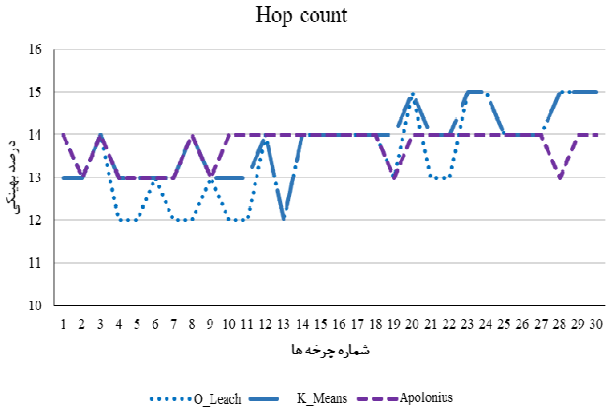
[9] G. Spandan, A. Patel, C. Manjunath, and N. GS, "Data aggregation protocols in wireless sensor networks," *International J. of Computational Engineering Research*, vol. 3, no. 5, pp. 18-24, May 2013.

[10] P. V. Ujawe and S. Khiani, "Review on data aggrigation techniques for energy efficiency in wireless sensor networks," *International J. of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 4, no. 5, pp. 142-145, Jul. 2014.

[11] A. Manikadan and S. Rathingowari, "An efficient detection and recovery of fault node in wireless sensor networks," *International J. of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 369-373, Feb. 2014.

[12] G. Gupta and M. Younis, "Load-balanced clustering in wireless sensor networks," in *Proc. of the Int. Conf. on Communication, ICC'03,* pp. 1848-1852, Anchorage, AK, USA, 11-15 May 2003.

[13] D. Wajgi and V. Thakur, "Load balancing based approach to improve lifetime of wireless sensor network," *International J. of Wireless & Mobile Networks*, vol. 4, no. 4, pp. 155-167, Aug. 2012.



شکل ۹: نمودار مقایسه تعداد گام‌های پیموده‌شده در سه روش O_Leach، K-Means و Apollonius.

[14] F. Garcia, J. Solano, and I. Stojmenovic, "Connectivity based k-hop clustering in wireless networks," *Telecommunication Systems*, vol. 22, no. 1, pp. 205-220, Jan. 2003.
[15] K. Dasgupta, M. Kukreja, and K. Kalpakis, "Topology-aware placement and role assignment for energy-efficient information gathering in sensor networks," in *Proc. of 8th IEEE Symp. on Computers and Communication, ISCC'03,* pp. 341-348, Kemer-Antalya, Turkey, 3-3 Jul. 2003.
[16] T. Moscibroda and R. Wattenhofer, "Maximizing the lifetime of dominating sets," in *Proc. of the 19th IEEE Int. Parallel and Distributed Processing Symp., IPDPS'05,* vol. 13, 8 pp., Denver, CO, USA, 4-8 Apr. 2005.
[17] R. Khanna, H. Liu, and H. H. Chen, "Self-organization of sensor networks using genetic algorithms," in *Proc. of the 32nd IEEE Int. Conf. on Communications,* vol. 8, pp. 3378-3382, Istanbul, Turkey, 11-15 Jun. 2006.
[18] S. Mottaghi and M. R. Zahabi, "Optimizing LEACH clustering algorithm with mobile sink and rendezvous nodes," *Int. J. Electron. Commun.*, vol. 69, no. 2, pp. 507-514, Feb. 2015.
[19] S. El Khediri, N. Nasri, A. Wei, and A. Kachouri, "A new approach for clustering in wireless sensors networks based on LEACH," *Procedia Computer Science*, vol. 32, pp. 1180-1185, 2014.
[20] S. H. Moon, S. Park, and S. Han, "Energy efficient data collection in sink-centric wireless sensor networks: a cluster-ring approach," *Computer Communications*, vol. 101, no. 5, pp. 12-25, Mar. 2017.
[21] M. Sabet and H. Naji, "An energy efficient multi-level route-aware clustering algorithm for wireless sensor networks: a self-organized approach," *Computers and Electrical Engineering*, vol. 56, pp. 399-417, Nov. 2016.
[22] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 1, no. 4, pp. 660-670, Oct. 2002.
[23] S. Bayraklı and S. Z. Erdogan, "Genetic algorithm based energy efficient clusters (gabeec) in wireless sensor networks," *Procedia Computer Science*, vol. 10, pp. 247-254, 2012.
[24] M. Kheireddine, R. Abdellatif, and G. Ferrari, "Genetic centralized dynamic clustering in wireless sensor networks," in *Proc 5th Int. Conf. on Computer Science and Its Applications, CIIA'15,* Saida, Algeria, May 2015.
[25] R. S. Elhabyan and M. C. Yagoub, "Two-tier particle swarm optimization protocol for clustering and routing in wireless sensor network," *J. of Network and Computer Applications*, vol. 52, pp. 116-128, Jun. 2015.
[26] D. J. Baker, J. E. Wieselthier, and A. Epheremides, "A design concept for reliable mobile radio networks with frequency hopping signaling," *Proceedings of the IEEE*, vol. 75, no. 1, pp. 56-73, Jan. 1987.
[27] S. Pourbahrami, "Optimization of LEACH method using distribute nodes and cell clustering," in *Proc. IEEE 4th Int. Conf. on Knowledge-Based Engineering and Innovation, KBEI'17*, pp. 0083-0087, Tehran, Iran, 22-22 Dec. 2017.
[28] S. Pourbahrami, L. M. Khanli, and S. Azimpour, "A novel and efficient data point neighborhood construction algorithm based on apollonius circle," *Expert Systems with Applications*, vol. 115, pp. 57-67, Jan. 2019.

شهین پوربهرامی تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۱ از دانشگاه الزهرا و در مقاطع و دکتری هوش مصنوعی در سال ۱۳۹۷ از دانشگاه تبریز به پایان رسانده است و هم‌اکنون مدرس دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه تبریز می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: الگوریتم‌های بدون نظارت، الگوریتم های تکاملی، محاسبات هندسی و کاربردهای آن، خوشه بندی کوانتومی و یادگیری ماشین.

الهام خالدی علمداری در سال ۱۳۹۶ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر- نرم‌افزار خود را از دانشگاه تبریز دریافت نمود. زمینه‌های علمی مورد علاقه نام‌برده شامل موضوعاتی مانند خوشه بندی در شبکه های حسگر بی سیم می‌باشد.

لیلی محمدخانلی در سال ۱۳۷۲ مدرک کارشناسی مهندسی کامپیوتر خود را از دانشگاه شهید بهشتی تهران و در سال های ۱۳۷۸ و ۱۳۸۳ مدارک کارشناسی ارشد و دکتری خود را از دانشگاه علم و صنعت دریافت نمودند. دکتر محمدخانلی در دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه تبریز در تبریز مشغول به فعالیت گردید و اینک نیز عضو هیأت علمی و به عنوان دانشیار در این دانشکده مشغول می‌باشد. زمینه‌های علمی مورد علاقه نام برده متنوع بوده و شامل موضوعاتی مانند ایده‌های نو در معماری کامپیوتر، شبکه‌های کامپیوتری، سیستم‌های توزیعی و پردازش ابر می‌باشد.