

## ارائه روشی مبتنی بر پوشش سراسری و تخمین اتفاق آرا برای بهبود کارایی در شبکه حسگر بی سیم

حمید پروین<sup>۱</sup>، استادیار؛ مجید محمدپور<sup>۲</sup>، کارشناس ارشد؛ روح‌الله امیدوار<sup>۴</sup>، کارشناس ارشد

۱- دانشکده مهندسی کامپیوتر - واحد نورآباد ممسنی - دانشگاه آزاد اسلامی - ممسنی - ایران - parvin@iust.ac.ir

۲- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان - واحد نورآباد ممسنی - دانشگاه آزاد اسلامی - ممسنی - ایران - parvin@iust.ac.ir

۳- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان - واحد یاسوج - دانشگاه آزاد اسلامی - یاسوج - ایران - m.mohammadpour@iauyasooj.ac.ir

۴- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان - واحد یاسوج - دانشگاه آزاد اسلامی - یاسوج - ایران - omidvar@iauyasooj.ac.ir

**چکیده:** شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSNها) از تعداد زیادی سنسور تشکیل شده است که دارای قابلیت‌هایی مانند حسگری، محاسبات، و برقراری ارتباط می‌باشند. توان باتری یک منبع مهم شبکه حسگر بی‌سیم می‌باشد. بنابراین عملکرد مؤثر شبکه حسگر بی‌سیم بستگی به استفاده بهینه از منبع باتری دارد. شبکه‌های حسگر بی‌سیم به‌طور معمول دارای محدودیت مصرف انرژی هستند. طراحی پروتکل مسیریابی مناسب به‌طور قابل توجهی می‌تواند مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم را کاهش دهد. در این مقاله یک راه‌کار جدید پیشنهاد شده که در آن گره به‌صورت خاص و در نواحی مختلف قرار گرفته تا پوشش در محیط برقرار شود و برای کاهش مصرف انرژی در گره‌ها، تنها یک گره در هر ناحیه در یک بازه زمانی فعال و سایر گره‌های ناحیه به حالت خواب خواهند رفت. برای برقراری چرخه وظایف و عدم تحمیل بار زیاد بر یک گره، گره فعال که وظیفه حس کردن و حفظ پوشش در ناحیه را برعهده دارد، در بازه زمانی بعدی ممکن است گره دیگر به‌عنوان گره فعال انتخاب شود. در شرایطی که بخشی از شبکه از گره تهی و اطلاعات آن در دسترس نباشد، با استفاده از تخمین اتفاق آرا توسط گره‌های سایر نواحی مجاور می‌توان سعی در تخمین مقدار آن ناحیه داشت. در واقع انتظار می‌رود که در روش پیشنهادی، با استفاده از ناحیه‌بندی محیط، تخمین اتفاق آرا و چرخه وظایف پوشش سراسری در شبکه بی‌سیم، کارایی بهبود یابد. نتایج حاصل نشان داده که روش پیشنهادی دارای کارایی مناسبی نسبت به سایر روش‌های مورد مقایسه است.

**واژه‌های کلیدی:** شبکه حسگر بی‌سیم، پوشش، ناحیه‌بندی، چرخه وظایف، تخمین اتفاق آرا.

## Peresented Approach Based on Global Coverage and Consensus Estimation to Improve Efficiency in Wireless Sensor Network

H. Parvin<sup>1,2</sup>, Assistant Professor; M. Mohammadpour<sup>3</sup>, MSc; R. Omidvar<sup>4</sup>, MSc

1- Department of Computer Engineering, Nourabad Mamasani Branch, Islamic Azad University, Mamasani, Iran, Email: parvin@iust.ac.ir

2- Young Researchers and Elite Club, Nourabad Mamasani Branch, Islamic Azad University, Mamasani, Iran, Email: parvin@iust.ac.ir

3- Young Researchers and Elite Club, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran, Email: m.mohammadpour@iauyasooj.ac.ir

4- Young Researchers and Elite Club, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran, Email: omidvar@iauyasooj.ac.ir

**Abstract:** Wireless Sensor Networks (WSNs) consist of large number of sensors which having capabilities such as sensing, computing, and communicating. Battery power is a critical resource of WSN. Therefore, an effective operation of WSNs depends upon the efficient use of its battery resource. Wireless sensor network typically has energy consumption restriction. In this paper we propose a new mechanism in which node placed in particular form and in various areas, to be covered in the environment and to reduce energy consumption in the nodes, only a node is active at a time in each area, and other area nodes are going into sleep. To establish a cycle of tasks, and intolerance of load on a node, active node that is responsible of sense and the coverage keep in the area, in the next time, another node may be selected as the active node. While part of the network is null from nodes and data are not available, using consensus estimation by other neighboring nodes can try to estimate the amount of that area. In fact, it is expected that in the proposed method, using the zoning of the environment, consensus estimation, and the tasks cycle of coverage in a wireless network, efficiency will be improved. The results showed the proposed method has suitable efficiency in compared with other similar methods.

**Keywords:** Wireless sensor network, coverage, zoning, duty cycle, consensus estimation.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۲۵

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۰۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۱۱

نام نویسنده مسئول: حمید پروین

نشانی نویسنده مسئول: ایران - یاسوج - دانشگاه آزاد اسلامی - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر.

**۱- مقدمه**

باشد با استفاده از روش تخمین اتفاق آرایی که توسط گره‌های مجاور ناحیه بدون پوشش انجام می‌شود تا حدی مقدار موجود در ناحیه بدون پوشش را تخمین زد. در این تحقیق بر روی ناحیه‌بندی شبکه، زمان‌بندی و تخمین اتفاق آرا مطالعه شده است و طرحی جدید و کارا برای پوشش در شبکه حسگر بی‌سیم ارائه شده است.

اهداف اصلی این تحقیق شامل موارد زیر است:

- ۱- پوشش کامل شبکه حسگر بی‌سیم
  - ۲- کاهش مصرف انرژی
  - ۳- تعادل بار و افزایش طول عمر شبکه حسگر بی‌سیم
- در این تحقیق به پرسش‌های اصلی زیر نیز پاسخ داده شده است:
- روش پیشنهادی چگونه می‌تواند با حداقل مصرف انرژی، پوشش در شبکه را در مدت زمان طولانی برقرار کند؟
- آیا با استفاده از چرخه وظایف می‌توان پوشش در شبکه حسگر بی‌سیم را تضمین کرد؟

تأثیر طرح پیشنهادی برای پوشش بر مصرف انرژی و کارایی شبکه حسگر بی‌سیم چگونه است؟

ساختار این مقاله به‌صورت زیر می‌باشد:

این مقاله در پنج بخش تنظیم شده است. در بخش اول که مشاهده کردید مقدمه و کلیات بیان گردید. در بخش ۲، پیش‌زمینه تحقیق آورده شده است. همچنین در همین بخش مروری بر الگوریتم‌های گذشته درباره بهبود پوشش در شبکه حسگر بی‌سیم انجام می‌شود. در بخش ۳ روش پیشنهادی جهت بهبود پوشش شبکه حسگر بی‌سیم بیان شده است. نتایج اجرای این الگوریتم و مقایسه آن با برخی روش‌های موجود در بخش ۴ آورده شده است. در نهایت در بخش ۵، نتیجه‌گیری از ارائه طرح پیشنهادی همراه با کارهای آتی قید شده است.

**۲- ادبیات موضوع و مروری بر کارهای گذشته**

در این بخش، ابتدا مروری کلی بر شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است. به کاربردها و مزایای شبکه حسگر بی‌سیم پرداخته و در ادامه تعاریفی از مفاهیم اساسی مرتبط با آن بیان می‌شود. سپس به مفاهیم پوشش پرداخته و به اجمال پوشش در شبکه حسگر بی‌سیم بررسی خواهد شد.

**۲-۱- تعاریف کلی**

تعریف و جایگاه شبکه حسگر بی‌سیم: پیشرفت‌هایی که اخیراً در زمینه ارتباطات بی‌سیم، ریزپردازنده و حسگر صورت پذیرفته است باعث کاهش توان مصرفی، هزینه و کوچک شدن اندازه قطعات مربوطه شده است. این پیشرفت‌ها، شبکه‌های جدیدی به نام شبکه‌های حسگر بی‌سیم را ایجاد کرده که می‌توانند اطلاعات مورد نظر را از پدیده‌های مختلف فیزیکی جمع‌آوری کنند. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، شبکه‌های حسگر شامل تعداد زیادی از گره‌های حسگر بسیار کوچک می‌باشند که به‌صورت مترکم در محیط پخش شده و برای جمع‌آوری و پردازش اطلاعات محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

یک شبکه حسگر متشکل از تعداد زیادی گره‌های حسگر است که در یک محیط به‌طور گسترده پخش شده و به جمع‌آوری اطلاعات از محیط می‌پردازند. لزوماً مکان قرار گرفتن گره‌های حسگر از قبل تعیین شده و مشخص نیست. چنین خصوصیتی این امکان را فراهم می‌آورد که بتوان آن‌ها را در مکان‌های خطرناک و یا غیرقابل دسترس رها کرد. از طرف دیگر این بدان معنی است که پروتکل‌ها و الگوریتم‌های شبکه‌های حسگر باید دارای توانایی‌های خودساماندهی باشند. دیگر خصوصیت‌های منحصر به فرد شبکه‌های حسگر، توانایی همکاری و هماهنگی بین گره‌های حسگر است. هر گره حسگر روی مدار خود دارای یک پردازش‌گر است و به‌جای فرستادن تمامی اطلاعات خام به مرکز یا به گره‌ای که مسئول پردازش و نتیجه‌گیری اطلاعات است، ابتدا خود یک سری پردازش‌های اولیه و ساده را روی اطلاعاتی که به‌دست آورده، انجام می‌دهد و سپس داده‌های نیمه پردازش شده را ارسال می‌کند. با این‌که هر حسگر به‌تنهایی توانایی ناچیزی دارد، ترکیب صدها حسگر کوچک امکانات جدیدی را عرضه می‌کند. در واقع قدرت شبکه‌های حسگر بی‌سیم در توانایی به‌کارگیری تعداد زیادی گره کوچک است که خود قادرند سازماندهی شوند و در موارد متعددی چون مسیریابی هم‌زمان، نظارت بر شرایط محیطی، نظارت بر سلامت ساختارها یا تجهیزات یک سیستم به‌کار گرفته شوند. علاوه بر یک یا چند حسگر، هر گره از شبکه معمولاً مجهز به یک فرستنده و گیرنده رادیویی (یا هر وسیله مخابراتی بی‌سیم دیگر)، یک میکروکنترلر کوچک و یک منبع انرژی (معمولاً یک باتری) است.

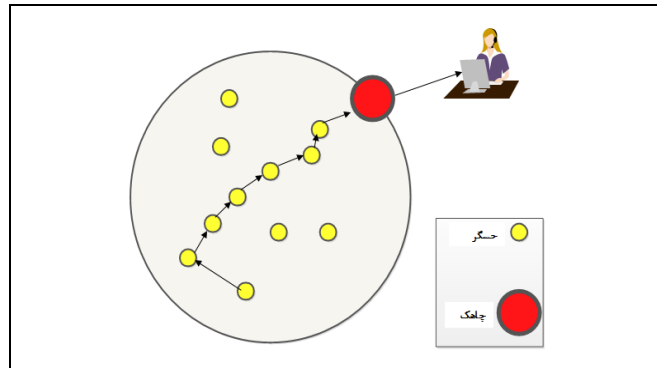
اندازه یک گره حسگر بسته به اندازه بسته‌بندی آن، تغییر کرده و تا یک دانه شن قابل کوچک‌سازی است. کاهش مصرف انرژی و پوشش کامل، از چالش‌های اساسی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم محسوب می‌شود که بدون در نظر گرفتن آن‌ها، کارایی شبکه تا حد زیادی به مخاطره خواهد افتاد. مصرف انرژی در شبکه اگر مدیریت نشود بعد از مدت زمان کوتاهی گره‌های حسگر خاموش می‌شوند. علت خاموشی گره اتمام منبع تغذیه آن است. منبع تغذیه یک گره محدود، غیرقابل شارژ و غیرقابل تعویض است، از این‌رو با اتمام منبع تغذیه عملاً گره غیرقابل استفاده می‌شود. خاموشی گره‌ها تأثیر مستقیمی بر کارایی شبکه حسگر بی‌سیم دارد. پس در نظر گرفتن مصرف انرژی در تکنیک‌های شبکه حسگر بی‌سیم اهمیت زیادی دارد. یکی از بحث‌های مطرح در شبکه حسگر بی‌سیم پوشش است. در یک شبکه، وظیفه اصلی گره‌ها خواندن اطلاعات محیطی است و گره‌ها باید به‌نحوی با یکدیگر تعامل داشته باشند که اطلاعات کل محیط حس شود. در صورت عدم پوشش در یک ناحیه، کارایی شبکه حسگر بی‌سیم کاهش می‌یابد. در بین روش‌های ارائه شده در پوشش، زمان‌بندی از نظر مصرف انرژی نسبت به سایر تکنیک‌ها کارا تر می‌باشد. در روش‌های ارائه شده در زمینه زمان‌بندی در مورد ناحیه‌بندی کم‌تر اشاره شده است. هم‌چنین می‌توان در صورتی که بخشی از شبکه غیرقابل دسترس

پوشش: توسعه تکنولوژی حسگر، سیستم‌های ریز الکترومکانیکی، شبکه‌بندی مدرن و تکنولوژی ارتباطات بی‌سیم باعث ایجاد و توسعه شبکه‌های حسگر بی‌سیم مدرن گردید. شبکه‌های حسگر بی‌سیم توانایی افراد برای دسترسی به اطلاعات، ارتباط فیزیکی اطلاعات محیط هدف با شبکه‌های انتقال را توسعه داده است. شبکه نسل بعد برای افراد بیش‌ترین اطلاعات هویت‌دار، مؤثر و جهت‌دار را فراهم می‌کند.

مسئله مهمی که اخیراً بیشتر مورد توجه قرار گرفته است مسئله پوشش<sup>۴</sup> می‌باشد. پوشش بدین‌معنی است که حسگرها چگونه می‌توانند فضای فیزیکی که در آن‌جا توزیع شده‌اند را به‌خوبی مشاهده کنند. پوشش یکی از سنج‌های کیفیت سرویس<sup>۵</sup> شبکه‌های حسگر بی‌سیم است و با مصرف انرژی ارتباط بسیار نزدیکی دارد. در برخی حالات انرژی ممکن است از محیط خارجی به‌دست آید (به‌عنوان مثال با استفاده از سلول‌های خورشیدی<sup>۶</sup>). اما در بسیاری از کاربردها و سناریوها، گره‌های شبکه حسگر بی‌سیم غالباً از شی پرنده‌ای به پایین پرتاب می‌شوند یا به‌صورت تصادفی در محدوده حسگر قرار خواهند گرفت. منابع تغذیه خارجی اغلب نمایی از رفتار ناپیوسته است که از این جهت بافر انرژی نیاز است و حتی به‌هیچ وجه منبع تغذیه‌ای نیاز نیست. در هر حال، یک منبع بسیار حیاتی است و باید با دقت زیادی استفاده شود. بنابراین مصرف انرژی یک موضوع کلیدی در طراحی سیستم‌های شبکه‌های حسگر بی‌سیم است. به‌دلیل منبع انرژی محدود در هر گره حسگر، نیاز به، به‌کارگیری حسگرها در حالت کارا برای افزایش طول عمر شبکه خواهیم داشت [۴].

معیارهای ارزیابی الگوریتم‌های کنترل پوشش: چگونگی ارزیابی کارایی پوشش و الگوریتم آن برای مورد استفاده بودن و کارایی شبکه بسیار مهم است. فاکتورهای اصلی در ادامه مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

کیفیت سرویس پوشش: کیفیت سرویس پوشش درباره کامل بودن وظایف شبکه تصمیم می‌گیرد، انعکاس توانایی حس کردن شبکه به دنیای فیزیکی را انجام می‌دهد و استاندارد پایه ارزیابی الگوریتم است. تعداد گره‌های فعال: در حالت مشاهده نیازمندی‌های پوشش تعداد گره‌های فعال کم‌تر، ناحیه پوشش موثری را فراهم می‌کند. به‌عبارت دیگر کاهش گره‌های فعال در کارایی مصرف انرژی تأثیر مثبتی دارد. وابسته به مکان گره بودن یا نبودن: الگوریتم‌های کنترل پوشش وابسته مجتمع با مکان یک گره، وابسته به زیرساخت خارجی (نظیر سیستم موقعیت‌یابی جهانی<sup>۷</sup>) یا برخی مکانیزم‌های مکان‌یابی هستند، نسبتاً پرهزینه بوده و نیاز به مصرف میزان زیادی انرژی دارند. در ضمن برخی موضوعات دقت در مکان‌یابی موجود است. بنابراین الگوریتم‌های کنترل پوشش که اطلاعات مکانی را درگیر نمی‌کنند مزیت بیش‌تری خواهند داشت.



شکل ۱: نمایی از شبکه‌های حسگر بی‌سیم

چاهک گره‌ای متفاوت از حسگرها بوده که محدودیت‌های حسگرها (از جمله انرژی) را نداشته و با قدرت پردازش بالا، توانایی پردازش نتایج ارسالی از تمامی حسگرها را دارد [۱].

کاربردها و مزایای استفاده از شبکه حسگر بی‌سیم: امروزه کاربردهای بسیاری برای شبکه‌های حسگر با توجه به هزینه پایین ساخت و قابلیت انتشار آن‌ها در محیط‌های مختلف، مطرح شده است و مداوم هم بر تعداد آن‌ها اضافه می‌شود. برخی از کاربردهایی که تاکنون بر روی این شبکه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند شامل، کاربردهای محیطی، نظامی و پزشکی می‌باشند [۲].

معماری شبکه‌های حسگر: شبکه حسگر از تعداد زیادی گره حسگر تشکیل شده است که هر گره نیز از مجموعه‌ای از اجزای سخت افزاری و برنامه کاربردی تشکیل شده است. گره‌ها با استفاده از این اجزاء با یکدیگر ارتباط برقرار کرده و یک شبکه حسگر را ایجاد می‌کنند.

حسگرها و محرک‌ها: حسگرها برای نظارت کنترل بر شرایط محیطی استفاده می‌شوند. هر حسگر می‌تواند در سه دسته قرار گیرد.

- غیرفعال همه‌جهته<sup>۱</sup>: این نوع حسگرها در مکان خود تنها به نظارت از محیط پیرامون خود می‌پردازند و هیچ دخالتی در محیط ندارند. حسگرهایی نظیر دما، فشار، رطوبت، ولتاژ، نور، دود، فشار هوا و ... در این دسته قرار می‌گیرند.

- فعال جهت‌دار<sup>۲</sup>: این نوع حسگرها (نظیر دوربین) در جهت خاصی تنها به نظارت بر محیط می‌پردازند. معمولاً حسگرهای جهت‌دار به‌صورت پویا قادر به تعویض جهت خود بوده و می‌توانند به‌طور متناوب جهت مختلف را پوشش دهند.

- فعال<sup>۳</sup>: این حسگرها به‌صورت فعال با محیط پیرامون در ارتباط هستند. به‌طور مثال رادار و یا حسگرهای تشخیص زمین‌لرزه سیگنال‌هایی به محیط ارسال کرده و نتایج را مورد ارزیابی قرار می‌دهند.

امروزه هر سه دسته حسگر ذکر شده در دسترس می‌باشد اما همان‌طور که مشخص است، حسگرهای غیرفعال همه‌جهته کاربرد بیش‌تری دارد. محرک‌ها علاوه بر فعالیت‌های حسگر قادر به کنترل شرایط محیطی مثل تنظیم نور نیز هستند [۳].

در مرجع [۸] نویسندگان روشی با عنوان الگوریتم شناسایی گره‌های کپی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به کمک انتشارات محلی و کانال‌های کرم‌چاله قانونی ارائه نموده‌اند. در این مقاله عنوان شده است که، با توجه به محدودیت‌های انرژی گره‌های حسگر، میزان انرژی مصرفی الگوریتم‌های ارائه شده برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم یک موضوع مهم می‌باشد. از آنجایی که عمل ارسال بسته‌ها نسبت به عمل پردازش و دریافت بسته‌ها انرژی خیلی بیش‌تری مصرف می‌شود، محاسبه تعداد بسته‌های ارسالی که به دلیل استفاده از یک الگوریتم خاص به شبکه تحمیل می‌شود، یک معیار مهم برای ارزیابی کارایی الگوریتم مطرح برای شبکه‌های حسگر است [۸].

روش‌های متعددی برای پوشش در شبکه حسگر بی‌سیم ارائه شده است که بررسی تمامی آن‌ها مقدور نیست. در بین روش‌های موجود چندین روش به عنوان روش‌های پوشش شاخص و معتبر شناخته می‌شوند که در این تحقیق به اختصار به آن‌ها اشاره خواهد شد [۹].

در مرجع [۱۰] روش کنترل ازدحام مبتنی بر تخمین در شبکه‌های موردی بی‌سیم ارائه شده است. از آنجایی که توپولوژی شبکه‌های حسگر بی‌سیم به‌طور مداوم در حال تغییر بوده و تداخلات امواج رادیویی نیز باعث گم شدن تعداد زیادی از بسته‌ها می‌شود، تضمین قابلیت اطمینان در این شبکه‌ها بسیار مشکل است. روش کنترل ازدحام ارائه شده توانسته مشکل گم شدن بسته‌ها را حل نماید.

در مقاله [۱۱] روشی جهت افزایش پوشش در شبکه حسگر بی‌سیم ارائه شده است که در آن فرض بر حرکت گره‌های حسگر است. براساس حرکت گره‌های حسگر وضعیت پوشش در شبکه بهبود می‌یابد. در این روش شبکه به‌صورت ناهمگن در نظر گرفته شده است، به این معنی که درصدی از گره‌های شبکه توانایی سخت‌افزاری بیش‌تر در قیاس با دیگر گره‌ها دارند. در این طرح، شبکه به نواحی مختلفی تقسیم می‌شود و در هر ناحیه یک گره در حالت فعال و مابقی گره‌ها در وضعیت خواب هستند تا مصرف انرژی در شبکه به حداقل برسد. ناهمگن بودن و حرکت گره‌ها از ضعف‌های عمده این روش می‌باشد.

یکی از روش‌های بسیار قوی و مؤثر در زمینه پوشش در شبکه‌های حسگر بی‌سیم روش ارائه شده در [۱۲] موسوم به رهیافتی برای پوشش اطلاعاتی کاربردی در شبکه حسگر بی‌سیم می‌باشد. در این مقاله برای برقراری پوشش سراسری از تکنیکی به نام تخمین اتفاق آرا استفاده می‌شود. در شبکه حسگر بی‌سیم تضمین کارایی انرژی برای افزایش طول عمر شبکه حیاتی است. در این حالت برخی گره‌ها توسط مثلاً زمان‌بندی خواب برای کاهش هزینه انرژی به‌گونه‌ای در نظر می‌گیرند که داده جمع‌آوری نکنند. این رهیافت برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کارا و عملیاتی می‌باشد اما اطلاعات محیطی نواحی که

انرژی کارا: الگوریتم‌های کنترل پوشش، نه تنها نیاز به کم‌ترین مصرف انرژی در یک وظیفه نظارت منفرد را دارند بلکه توازن انرژی شبکه در دنباله‌ای از وظایف نظارت نیز باید رعایت شود.

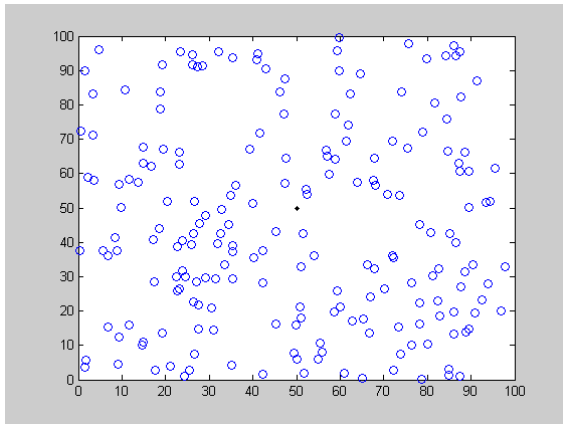
سربار ارتباطی: انتقال داده، منبع اصلی مصرف انرژی یک گره حسگر است. الگوریتم‌های کنترل پوشش با هزینه کم‌تر در فرآیند ارتباط مزیت بیش‌تری دارند. مقیاس‌پذیری شبکه: الگوریتم کنترل پوشش باید بتواند با مقیاس‌های مختلف شبکه حسگر بی‌سیم و تغییرات پویای توپولوژی شبکه خودش را وفق دهد [۵].

## ۲-۲- مروری بر کارهای گذشته

در این بخش مروری بر کارهای گذشته بیان می‌شود. اکثر روش‌های معرفی شده در این بخش، روی پوشش در شبکه‌های حسگر بی‌سیم تحقیق نموده‌اند.

مرجع [۶] رابطه بین پوشش  $k$  و اتصال  $k$  را مورد کنکاش قرار داده است. در این مقاله اثبات شده است که اگر یک شبکه حسگر بی‌سیم تمام حسگرهایش را با دامنه ارتباطی حداقل دو جفت دامنه حس تنظیم کند، آن‌گاه پوشش  $k$  به معنی اتصال  $k$  نیز خواهد بود. بخش مهم دیگر این مقاله یک بحث کامل بر قاعده‌ای بسیار ساده جهت تبدیل از سطوح پوشش بررسی شده یک محیط به سطح پوشش تعیین شده تمام نقاط تقاطع (نقطه تقاطع نقطه‌ای) است. دایره حس یک حسگر با دوایر حس سایر گره‌های حسگر یا با مرزهای ناحیه نظارت داخل می‌شود. آن قاعده یک حالت کلی از قاعده‌ای است که قبلاً در [۷] معرفی شده است. این قاعده بیان می‌کند که اگر تمام نقاط تقاطع بین حسگرهای محیطی و مرزهای ناحیه نظارت به‌طور کافی  $k$  پوششی باشند، آن‌گاه کل ناحیه به‌قدر کافی  $k$  پوششی خواهد بود.

علاوه بر این، نویسندگان الگوریتمی به نام CCP جهت زمان‌بندی خاموش یا روشن شدن حسگرها برای اطمینان از  $k$  پوشش کل ناحیه همراه با صرفه‌جویی در مصرف انرژی ارائه کرده‌اند. در CCP هر حسگر گاهی اوقات شایستگی الحاق به شبکه را بررسی می‌کند. الگوریتم با تنظیم تمام گره‌ها در حالت فعال آغاز می‌شود. هنگامی که یک حسگر در وضعیت فعال باشد و پیام "سلام" را دریافت کند، از قاعده شایستگی برای مشاهده این که خاموش یا روشن شود استفاده می‌کند. اگر قادر باشد حسگر خودش را خاموش کند، به حالت خواب می‌رود و زمان سنج خواب را جهت بیداری بعد از بازه زمانی مشخص، تنظیم می‌کند. هنگامی که زمان سنج خواب منقضی شد، حسگر به حالت گوش دادن برمی‌گردد. در این حالت، حسگر مجدداً شایستگی الحاق به شبکه یا ادامه خواب را بررسی می‌کند. اگر متقاعد به ادامه خاموشی شود، مجدداً زمان سنج خواب را تنظیم کرده و به حالت خواب می‌رود، در غیراین صورت به حالت فعال تغییر وضعیت می‌دهد.

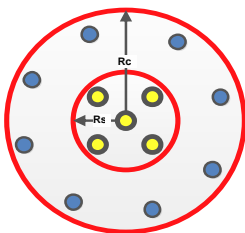


شکل ۲: آرایش شبکه حسگر بی‌سیم

### ۳-۱-۲- مدل حس - ارتباط

در مدل ارائه شده در شکل ۳، فرض شده است که دامنه ارتباطی گره‌های حسگر  $R_C$  و دامنه حس کردن گره‌ها  $R_S$  می‌باشد. لازم به یادآوری است که گره‌های حسگر برای ارتباط با سایر گره‌ها در شبکه حسگر بی‌سیم از تجهیزات مخابراتی با برد محدود استفاده می‌کنند. برد محدود این گره‌ها به چند عامل بستگی دارد، یکی از این عوامل ظاهر فیزیکی گره‌هاست که باعث می‌شود نتوان تجهیزات که از نظر حجم ظاهری بزرگ هستند را بر روی کیت کوچک گره تعبیه کرد. همچنین از سوی دیگر عوامل محدودیت برد تجهیزات مخابراتی گره‌ها می‌توان به عوامل محیطی اشاره کرد. از آنجا که تعداد گره‌های حسگر در شبکه حسگر بی‌سیم بسیار زیاد است و بعضاً تا هزاران گره می‌رسد، اگر برد محدود نباشد تداخل، نویز و مسائل از این دست در شبکه بروز خواهد کرد. هماهنگی و همگامی این تعداد از گره‌ها جهت کاهش این تداخلات عملاً بسیار سخت و بعضاً ناممکن می‌نماید. مهم‌ترین عامل محدودیت برد تجهیزات مخابراتی در گره‌های حسگر مساله منبع تغذیه است، چرا که گره برای ارسال داده به مسافت دورتر نیازمند مصرف انرژی بیشتری است. در این تحقیق دامنه ارتباطی، که همان ناحیه‌ای است که تجهیزات مخابراتی گره می‌توانند داده را در آنجا پخش کنند، با نماد  $R_C$  نشان داده می‌شود. دامنه حس محدوده‌ای است که گره در آن محدوده می‌تواند عوامل محیطی را حس کند.

حسگرهای موجود در گره‌های حسگر معمولاً تغییرات اصلی در پارامترهای محیطی تحت دامنه خودشان را تشخیص می‌دهند. از جمله این پارامترها می‌توان به پارامترهای رطوبت، فشار، حرارت، لرزش، نور و ... اشاره کرد.



شکل ۳: مدل حس-ارتباط

حسگرهای خواب در آن جا استقرار یافته‌اند به‌طور مستقیم نمی‌توانند حس شوند، بنابراین پوشش اطلاعات یک چالش بالقوه است. این تحقیق بر محدودیت‌های واقعی در فرآیند تخمین اتفاق آرا تمرکز دارد. مقالات اندکی در این زمینه نگارش شده‌اند اما طرح مقاله برای پوشش اطلاعات به‌وسیله تمیز گره‌های بیدار مختلف عملیاتی‌تر می‌باشد و هزینه انرژی ارتباط و محاسبه در شبکه می‌تواند منطقاً کاهش بیش‌تری داشته باشد. درضمن، دو پارامتر تاثیرگذار برای تضمین رابطه بین تعداد حسگرهای بیدار و دقت تخمین به‌طور مجزا برای تولید فرمولاسیون را اتخاذ می‌کند.

یکی دیگر از مقالات معتبر در زمینه پوشش سراسری شبکه حسگر بی‌سیم در [۱۳] ارائه شده است. نویسندگان نام میزان پوشش کارا با استفاده از تحرک  $(ECRM^*)$  را برای این طرح برگزیده‌اند. مدل شبکه که در این طرح در نظر گرفته شده، شبکه ناهمگن است که در آن درصدی از گره‌ها به‌عنوان گره‌های پیشرفته<sup>۹</sup> با توانایی سخت افزاری بالاتر در مقایسه با سایر گره‌ها در محیط قرار دارند. در بخش پیاده‌سازی ۲۰ درصد کل گره‌ها، گره‌های پیشرفته و مابقی گره‌های عادی در نظر گرفته شده که به‌صورت تصادفی در محیط توزیع می‌شوند. انرژی اولیه گره‌های پیشرفته چهار برابر گره‌های معمولی بوده و چاهک در مرکز محیط قرار داده شده است. این روش بر اساس تقسیم محیط شبکه حسگر به‌نواحی مساوی طراحی شده به این‌صورت که مساحت هر ناحیه برابر با  $\left(\frac{R_S}{\sqrt{2}}\right) \times \left(\frac{R_S}{\sqrt{2}}\right)$  است.

### ۳- روش پیشنهادی

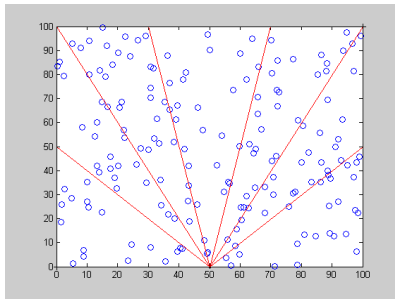
در این بخش به بررسی طرح پیشنهادی پرداخته و این طرح با جزئیات کامل بیان خواهد شد. همان‌طور که اشاره شد یکی از چالش‌های اساسی در شبکه حسگر بی‌سیم پوشش سراسری می‌باشد، چرا که اطلاعات محیط تحت نظر شبکه باید همواره در دست باشد. به‌عبارت دیگر می‌توان گفت نبود پوشش در بخشی از شبکه ممکن است کارایی شبکه را به‌شدت تهدید کند.

### ۳-۱- مدل شبکه

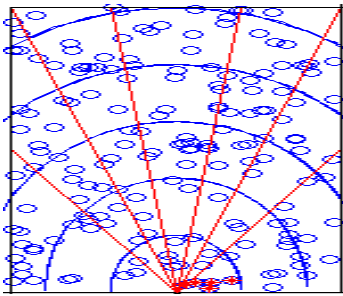
طرح‌های زیادی از مدل‌های شبکه وجود دارد که در ادامه این تحقیق دو مدل از طرح‌های موجود مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

### ۳-۱-۱- آرایش گره‌ها

در این طرح فرض شده است  $n$  گره حسگر در محیطی دو بعدی با ابعاد  $x_m \times y_m$  به‌صورت تصادفی پراکنده شده‌اند. شبکه همگن است، به این معنی که گره‌های حسگر از نظر سخت‌افزاری شبیه به هم هستند و برتری بر یکدیگر ندارند. مثالی از این آرایش در شکل ۲ نشان داده شده است. در این مثال تعداد گره‌های حسگر ۲۰۰ و ابعاد محیط ۱۰۰ در ۱۰۰ است. گره‌های حسگر با دواپر توخالی آبی رنگ و ایستگاه پایه با نقطه سیاه مشخص شده‌اند.



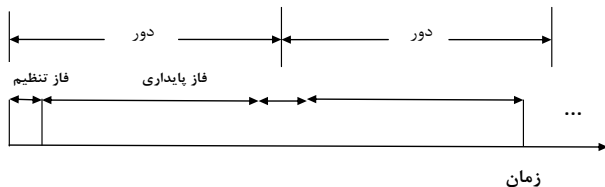
شکل ۶: ارسال پیام از ایستگاه پایه با زاویه‌های مشخص و تقسیم‌بندی شبکه



شکل ۷: گره‌های موجود در ناحیه اول

### ۳-۱-۴ - تقسیم وظایف

برای برقراری پوشش در شبکه حسگر بی‌سیم در هر ناحیه از شبکه، فعال بودن تنها یک گره کافی است. در نتیجه فعال بودن سایر گره‌ها بی‌هوده و باعث اتلاف انرژی خواهد شد. همانند بسیاری از روش‌های مشابه، روش پیشنهادی در دوره‌های زمانی مختلف اجرا می‌شود که در فاز تنظیم، گره فعال در ناحیه بر اساس بیش‌ترین انرژی باقی‌مانده انتخاب می‌شود و در فاز پایداری، گره فعال اطلاعات محیطی را حس و به ایستگاه پایه منتقل می‌کند. سپس در زمانی مشخص، فاز تنظیم مجدد اجرا شده و ممکن است گره فعال تغییر کند. به هر دو فاز تنظیم و پایداری یک دور گفته می‌شود و در زمان‌های مشخص تکرار می‌گردد. در شکل ۸ دوره‌های شبکه و فازهای آن و در شکل ۹ الگوریتم انتخاب گره فعال مربوط به هر ناحیه در هر دور نشان داده شده است. برای تداوم پوشش در شبکه حسگر بی‌سیم، گره‌های با انرژی کم معمولاً در حالت خواب قرار می‌گیرند و گره‌های با انرژی بیش‌تر در حالت فعال قرار می‌گیرند تا اطلاعات محیط را حس و به ایستگاه پایه ارسال کنند.



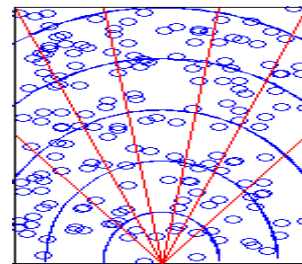
شکل ۸: دوره‌های شبکه

در هر ناحیه از محیط شبکه، یک گره مسئول حس کردن و ارسال داده‌های حس شده به ایستگاه پایه است که به آن گره فعال می‌گویند. سایر گره‌های موجود در ناحیه تا رسیدن زمان انمام دور جاری در حالت خواب قرار می‌گیرند. فرآیند حس کردن و ارسال اطلاعات در گره فعال در

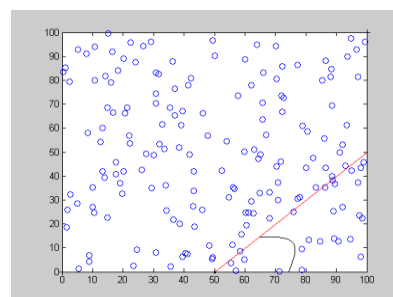
در شکل ۳ گره‌هایی که به‌صورت دایره تو خالی نشان داده شده‌اند در واقع در ناحیه حس گره مرکزی و دایره‌های پر و تو خالی در ناحیه ارتباط گره مرکزی هستند. همچنین می‌توان گفت دایره‌های که به شکل توپر نشان داده شده‌اند در ناحیه حس گره مرکزی نبوده ولی در دامنه ارتباطی گره مرکزی قرار دارند. برای این که ارتباط مستقیم بین گره‌های همسایه تضمین شود، همچنین به دلیل سادگی در مرحله پیاده‌سازی، مطابق برخی روش‌های موجود دامنه ارتباطی دو برابر دامنه حس تعریف می‌شود. ناحیه ارتباطی یک گره به‌صورت دایره‌ای نشان داده می‌شود با مرکزیت آن گره و شعاع  $R_C$  یا به عبارت دیگر، نواحی که فاصله آن‌ها از گره تا آن‌جا کم‌تر از  $R_C$  باشد ( $d < R_C$ ). همچنین ناحیه حس کردن نیز شبیه به ناحیه ارتباط تعریف می‌شود ( $d < R_C$ ).

### ۳-۱-۳ - تقسیم شبکه

حال نوبت به بررسی فرآیند پوشش در شبکه می‌رسد. برای برقراری پوشش در شبکه حسگر بی‌سیم اولین تکنیکی که در نظر گرفته می‌شود تقسیم شبکه به نواحی مختلف مطابق شکل ۴ است. مراحل تقسیم ناحیه در شکل‌های ۵ تا ۷ نشان داده شده است. ایستگاه پایه در مرکز خط افقی پایین شکل قرار می‌گیرد و در گام نخست سیگنال راهنما را با زاویه  $\alpha$  پخش می‌کند. حسگرهایی که این سیگنال راهنما را در بازه زمانی  $t$  نخستین دریافت می‌کنند، قدرت سیگنال را برای تعیین فاصله نسبی تا ایستگاه پایه اندازه‌گیری می‌کنند. در این‌جا  $T$  فاصله از قبل تعریف شده‌ای است که، نسبت عکس با قدرت سیگنال دریافتی دارد. برطبق مقاله [۱۴] اندازه زاویه  $\alpha$ ،  $10^\circ$  درجه و  $T$   $35$  متر در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس گره‌هایی که فاصله آن‌ها تا ایستگاه پایه کم‌تر از  $35$  متر و زاویه آن‌ها  $10^\circ$  درجه باشد، در ناحیه (۱۰۱) قرار می‌گیرند. شکل ۷ گره‌های موجود در ناحیه یک را نشان می‌دهد.



شکل ۴: تقسیم‌بندی شبکه



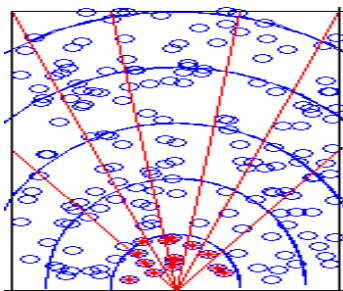
شکل ۵: ارسال پیام از ایستگاه پایه به گره‌ها با زاویه مشخص درجه در گام اول

در الگوریتم شکل ۹ روند انتخاب گره فعال آورده شده است. در این الگوریتم گره با بیشترین ارزش (بیشترین انرژی و بیشترین مرکزیت) در هر ناحیه یافت می‌شود. ابتدا هر ناحیه بررسی می‌شود و سپس در اعضای هر ناحیه، آن گره‌ای که بیشترین ارزش را دارد به‌عنوان گره فعال انتخاب می‌شود. در نهایت بعد از بررسی تمام گره‌های عضو ناحیه، اگر گره فعال در ناحیه معرفی نشد، به‌معنای خالی بودن ناحیه از گره می‌باشد.

### ۳-۱-۵- انتقال اطلاعات به ایستگاه پایه

گره‌های فعال از میان گره‌های حسگر هر ناحیه انتخاب می‌شوند. این گره‌ها وظیفه خواندن اطلاعات محیطی و ارسال آن به ایستگاه پایه را برعهده دارند. به‌دلیل پرهزینه بودن یک گره فعال، در هر ناحیه گره‌های با بیشترین انرژی به‌عنوان گره فعال انتخاب می‌شوند. هدف از شبکه حسگر بی‌سیم به‌طور عمده، خواندن اطلاعات محیطی و ارسال آن به یک ایستگاه مرکزی به‌نام ایستگاه پایه یا چاهک می‌باشد. با توجه به آرایش ناحیه‌بندی شده شبکه، گره‌های فعال واقع در لایه‌های بالاتر، انرژی بیشتری برای ارسال به ایستگاه پایه مصرف می‌کنند. برای کاهش این ارسال‌ها از مسیریابی چندگامی به‌شرح زیر استفاده می‌گردد. مسیریابی چندگامی باعث برقراری توازن بار می‌شود که برای شبکه حسگر بی‌سیم بسیار حائز اهمیت است.

بعد از دریافت اطلاعات از گره فعال ناحیه، آن گره فعال آماده ارسال اطلاعات به ایستگاه پایه می‌شود. چنانچه ایستگاه پایه در مجاورت ناحیه گره فعال باشد بدون هیچ عملیات اضافی، اطلاعات توسط گره فعال به ایستگاه پایه ارسال می‌شود. گره‌های لایه اول که در شکل ۱۰ با رنگ قرمز متمایز هستند در مجاورت ایستگاه پایه قرار دارند. سایر گره‌ها برای ارسال داده‌های خود به ایستگاه پایه می‌بایست آن‌ها را به لایه‌های پایین‌تر منتقل کنند.



شکل ۱۰: گره‌های لایه اول

در بین گره‌های لایه‌های پایین‌تر آن گره‌هایی که در ناحیه هم شماره با گره فعلی یا یک شماره کم‌تر یا بیش‌تر باشند، اولیت دارند. این موضوع مسافت طی شده بسته تا رسیدن به ایستگاه پایه را کاهش می‌دهد. در فرآیند مسیریابی، به‌مانند بسیاری از فعالیت‌های شبکه حسگر، مصرف انرژی بسیار حائز اهمیت است. ارسال و دریافت داده، فعالیت اصلی در فرآیند مسیریابی است. پارامترهای تأثیرگذار در افزایش یا کاهش مصرف انرژی برای ارسال داده، تعداد بیت‌های ارسالی و مسافت طی شده این بیت‌ها می‌باشد. با ثابت در نظر گرفتن طول

کنار سایر عملیات‌های آن، انرژی زیادی از گره می‌گیرد و گره در حالت خواب حداقل مدارات، نظیر مدار فعال‌ساز و زمان‌سنج آن فعال است پس حداقل انرژی از گره مصرف خواهد شد. از این‌رو باید برای برقراری پوشش و جلوگیری از خاموشی سریع گره‌ها، گره‌های با انرژی بیش‌تر به‌عنوان گره فعال انتخاب شوند. در غیر این‌صورت در شرایطی ممکن است در حین فرآیند حس و ارسال اطلاعات، گره فعال که با انرژی اندک انتخاب شده است، خاموش شود و در عملیات شبکه اختلال به‌وجود آید.

علاوه بر در نظر گرفتن بیش‌ترین انرژی در انتخاب گره فعال، بهتر است گره فعال در مرکز ناحیه هم قرار بگیرد، زیرا علاوه بر مناسب بودن برای پوشش کل ناحیه، با سایر نواحی نیز کم‌ترین فاصله را داشته باشد. کم‌ترین فاصله تا سایر نواحی برای بحث تخمین نواحی تهی از گره بسیار سودمند خواهد بود، هر چند که انرژی باقی مانده اهمیت بیش‌تری نسبت به مرکزیت دارد. در نتیجه گره‌ای به‌عنوان گره فعال انتخاب می‌شود که بیش‌ترین ارزش را داشته باشد. ارزش هر گره از رابطه (۱) به‌دست می‌آید:

(۱)

$$Centrality_i = \max\_distance - distance\_between(middle\ of\ area\ and\ node_i)$$

$$Value_i = \left( 4 \times \left( \frac{node\_i\_remainnig}{initial\_energy} \right) \right) + \left( \frac{centrality_i}{\max\_centrality} \right)$$

در این رابطه  $\max\_distance$  بیش‌ترین فاصله بین یک گره ناحیه تا مرکز همان ناحیه،  $distance\_between$  فاصله بین گره  $i$  تا مرکز ناحیه،  $node\_i\_remainnig$  انرژی باقی‌مانده گره  $i$ ،  $initial\_energy$  انرژی اولیه و  $Centrality_i$  مرکزیت گره  $i$  را نشان می‌دهد. از آن‌جا که، واحد انرژی و مرکزیت با یکدیگر متفاوت است، واحد انرژی ژول و واحد مرکزیت متر بوده و برای ترکیب آن‌ها باید واحدها را حذف کرد. برای این‌منظور مرکزیت را بر بیش‌ترین مرکزیت موجود ( $\max\_centrality$ ) و انرژی را بر بیش‌ترین انرژی گره ( $initial\_energy$ ) تقسیم خواهیم کرد. در این‌صورت انرژی و مرکزیت به اعدادی بین صفر و یک تبدیل می‌شوند. از آن‌جا که انرژی باقی‌مانده گره در انتخاب شدن به‌عنوان گره فعال تأثیر بیش‌تری دارد، پس با ضریب ۴ ارزش آن را بیش‌تر خواهیم کرد.

```

Select Active Node
1. Input S, nodes, Area
2. Output S, Area
3. Global Rs
4. for area=1:1:length(Area)
5.     if Area (area).empty==1
6.         max_value=0
7.         active_node=-1
8.     for i=1:1:length(Area(area).member(I)).value >
max_value
9.         if S(Area(area).member(I)).value > max_value
10.            max_value=S(Area(area).member(i)).Value
11.            active_node= Area(area).member(i)
12.        end
13.    end
14.    if active_nod==1
15.        Area(area).empty=1
16.    else
17.        S(active_node).type='active'
18.    end
19. end
20.end
    
```

شکل ۹: الگوریتم انتخاب گره فعال در هر ناحیه

در شکل ۱۲، الگوریتم یافتن گره بعدی آورده شده است. این الگوریتم به‌ازای تمام گره‌های فعال اجرا می‌شود. در ابتدا گره بعدی برای دریافت بسته ایستگاه پایه در نظر گرفته می‌شود که در صورت نبود گره در نواحی مد نظر، ارسال مستقیم انجام شود. در ادامه شرطی بررسی می‌شود که در آن فقط گره‌های فعال در لایه پایین‌تر از گره جاری و در نواحی هم‌شماره یا با یک شماره اختلاف در نظر گرفته می‌شوند. در بین گره‌های این نواحی، گره‌ای که کم‌ترین فاصله تا ایستگاه پایه را داشته باشد به‌عنوان گره بعدی برای تحویل بسته انتخاب می‌شود. طبق آن چه گفته شد، علت این انتخاب کاهش مسافت طی شده بسته داده در شبکه است.

### ۳-۱-۶- تخمین انفاق آرا

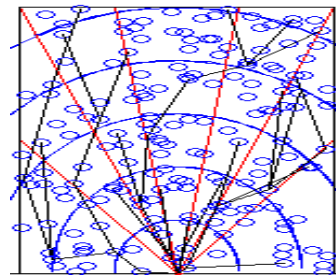
در حین فرآیند شبکه به شرایطی خواهیم رسید که در آن گره‌های یک ناحیه به‌طور کامل خاموش شده‌اند و دیگر آن ناحیه از پوشش خارج شده است. در این شرایط باید طرحی اندیشیده شود که بتوان کمکان پوشش را حفظ کرد. برای این منظور تکنیکی به‌نام تکنیک رأی‌گیری ارائه شده است که در این تحقیق از آن کمک خواهیم گرفت. این طرح بر این اساس است که اطلاعات خوانده شده گره‌ها در نواحی مجاور با ناحیه تحت پوشش شباهت بیشتری دارند. پس می‌توان با میانگین‌گیری از اطلاعات نواحی مجاور، مقدار موجود در ناحیه تهی را به‌دست آورد. از آن‌جا که هر چه فاصله بین حسگرها کم‌تر باشد شباهت اطلاعات حس شده آن‌ها نیز بیشتر است، در این تخمین فاصله نیز در نظر گرفته می‌شود. فاصله گره‌های فعال در ناحیه‌های دارای پوشش تا مرکز ناحیه تهی از گره به‌عنوان پارامتری دیگر در تخمین استفاده می‌شود. رابطه (۲) تخمینی از اطلاعات ناحیه تهی از گره است که در ایستگاه پایه محاسبه می‌شود.

$$Estimated\_Data = \frac{\sum_{area=1}^k Sensed\_Data_{area} \times Dist_{area\_node, center\ of\ empty\ area}}{\sum_{area=1}^k Dist_{area\_node, center\ of\ empty\ area}} \quad (2)$$

در این فرمول فاصله بین گره فعال ناحیه مجاور تا مرکز ناحیه تهی (گره  $area$ ) با نماد  $Dist_{area\_node, center\ of\ empty\ area}$  داده حس شده توسط ناحیه‌ها با نماد  $Sensed\_Data_{area}$  و تعداد نواحی دارای گره فعال با نماد  $k$  نشان داده شده است. در شکل ۱۳ الگوریتم تخمین انفاق آرا نشان داده شده است. در این الگوریتم ناحیه تهی از گره  $i$  به‌عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شود. سپس تمام نواحی همسایه این ناحیه مورد بررسی قرار خواهند گرفت. اگر در همسایگی ناحیه تهی  $i$ ، ناحیه‌ای وجود داشته باشد که تهی نباشد به‌تعداد نواحی که می‌توانند ناحیه تهی  $i$  را پوشش دهند اضافه می‌شود. بعد از اتمام حلقه، چنان‌چه نواحی پوشش‌دهنده بیش از دو ناحیه نباشد ناحیه  $i$  نمی‌تواند توسط همسایه‌گانش پوشش داده شود، در غیر این‌صورت قابل پوشش می‌باشد.

بسته داده‌ای، مسافت طی شده بسته داده‌ای را باید تا حد ممکن کاهش داد. در این حالت با توجه به وجود نواحی و لایه‌های مختلف و تعداد اندک گره‌های فعال، نیاز به استفاده از تکنیک‌های مسیریابی پیچیده وجود ندارد. گره‌های لایه بالاتر باید یک گره در لایه پایین‌تر خود انتخاب کنند، به‌عنوان مثال گره‌ای در لایه ۵ باید گره فعالی در لایه ۴ برای تحویل بسته به آن گره انتخاب نماید تا بسته بتواند به‌سمت ایستگاه پایه هدایت شود. در بین گره‌های لایه ۴، آن گره‌هایی که در ناحیه هم‌شماره با گره فعلی یا یک شماره کم‌تر یا بیشتر باشند، اولیت دارند. چنان‌چه در این نواحی گره‌ای وجود نداشته باشد، ارسال مستقیم انجام می‌گیرد. علت در نظر گرفتن این موضوع این است که انتخاب سایر نواحی باعث طولانی‌تر شدن مسافت ارسالی بسته تا ایستگاه پایه می‌گردد.

شکل ۱۱ مثالی از ارسال بسته و شکل ۱۲ الگوریتم یافتن گره بعدی در لایه‌های پایین‌تر توسط گره‌های فعال موجود در لایه‌های بالایی را نمایش می‌دهند. در شکل ۱۱ هر خط ارتباطی بین گره‌های فعال بین دو ناحیه را نشان می‌دهد. گره فعال ناحیه بالاتر، اطلاعات حس شده خود را به گره فعال در ناحیه پایین‌تر که با خط سیاه مشخص شده است برای رسیدن به ایستگاه پایه تحویل می‌دهد.



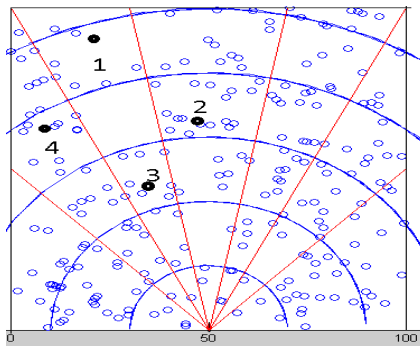
شکل ۱۱: ارتباط بین گره‌های فعال و ایستگاه پایه

```

Find next step for routing
21. Input S, Area
22. Output sink
23. Global sink
24. for i=1:1:length(S)-1
25.   If strcmp(S(i).type, 'active')
26.     mindist=1000
27.     next_step=length(S)
28.     for j=1:1:length(S)-1
29.       If strcmp(S(i).type,
        'active')&&S(i).T=S(j).T+1&&ABS(s(i).a-
        S(j).a)<=1
30.         dist=distance(S(j), sink)
31.         if dist<mindist
32.           next_step=j
33.           mindist=dist
34.         end
35.       end
36.     end
37.     S(i).next_step=next_step
38.   end
39. end
    
```

شکل ۱۲: الگوریتم یافتن گره بعدی در لایه پایین‌تر





شکل ۱۶: نواحی مجاور و گره‌های فعال در هر ناحیه

```

Consensus Estimation algorithm
1. Input: S, Area, I
2. Output: S, Area
3. Coverage=0
4. for k=1:1:length(Area(I).nab)
5.     if Area(Area(I).nab(k)).empty==1
6.         Coverage= Coverage+1
7.     end
8. end
9. if Coverage>2
10.    Area(I).empty=-1
11. else
12.    Area(I).empty=1
13. end
14. end
    
```

شکل ۱۳: الگوریتم تخمین اتفاق آرا

#### ۴- نتایج تجربی

در این بخش برای ارزیابی طرح پیشنهادی چندین سناریو مختلف مورد بررسی قرار خواهد گرفت و طرح پیشنهادی با روش‌های ECAE [۱۷]، O-LEACH [۱۶]، LEACH-C [۱۵]، LEACH [۱۸]، W-LEACH [۱۹]، IBCA [۲۰] و ECRM [۱۳] مقایسه خواهد شد. برای شروع شبیه‌سازی ابتدا بایستی پارامترهای اولیه شبکه مشخص شود. پارامترهای اولیه شامل تعداد گره‌ها، نحوه توزیع گره‌ها، انرژی اولیه گره، ابعاد محیط توزیع گره‌ها، مختصات قرارگیری چاهک و ... می‌باشند. پارامترهای اولیه شبکه برای پیاده‌سازی سناریو اول در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: پارامترهای اولیه شبیه‌سازی

مقدار	پارامتر
۲۰۰	تعداد گره (سناریو اول)
۱۰۰	طول محیط
۱۰۰	عرض محیط
(۵۰ و ۵۰)	مختصات چاهک
۰.۰۱ ژول	انرژی اولیه (سناریو ۱)
۴۰۰۰ بیت	طول بسته داده
۳۲ بیت	طول بسته کنترلی

#### ۴-۱- نتایج شبیه‌سازی

##### ۴-۱-۱- سناریو اول

در سه شکل ۱۷، ۱۸ و ۱۹ خروجی حاصل از اجرای سناریو اول نشان داده است. در این سناریو تعداد گره‌های حسگر ۲۰۰ گره و انرژی اولیه آن‌ها ۰/۰۵ ژول می‌باشد که در یک محیط مربع شکل به ابعاد (۱۰۰×۱۰۰) پراکنده شده‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های دیگر از نظر مصرف انرژی در تمام دوره‌های شبکه عملکرد بهتری داشته و تعداد گره‌های خاموش در الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌ها در دوره‌های مختلف کمتر است.

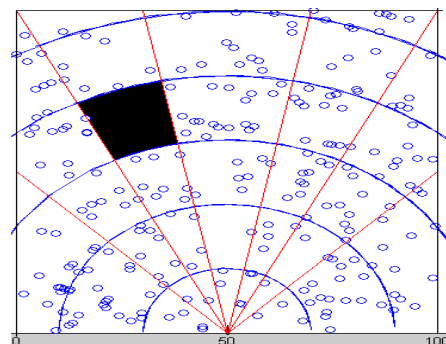
شبه‌کد شکل ۱۴ برای شناسایی نواحی همسایه در نظر گرفته شده است. به این صورت که به ازای هر ناحیه (area)، تمام نواحی (area2) بررسی می‌شوند. چنانچه فاصله گره فعال در area2 از گره فعال در area کم‌تر از شعاع ارتباطی ( $R_c$ ) باشد آن دو ناحیه همسایه هم در نظر گرفته می‌شود. در این حالت به تعداد نواحی همسایه ناحیه area یک واحد افزوده شده و ناحیه area2 در آرایه همسایه‌های ناحیه area ذخیره می‌شود.

```

Neighbor Detection Algorithm
1. Input: Area, S
2. Output: Area
3. for area=1:1:length(Area)
4.    K=0
5.    for area2:1:1:length(Area)
6.        if (Area)area.active_nod>=0 &&
            Area(area2).active_nod>=0
7.            if
                distance(S(Area)area.active_nod),S(Area(area2).active_nod)<Rc && area~=area2
8.                k=k+1
9.                Area(area).nab(k)=area2
10.           end
11.        end
12.    end
13. end
    
```

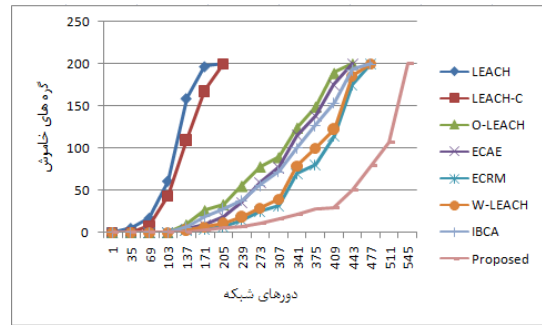
شکل ۱۴: الگوریتم کشف ناحیه همسایه

به‌عنوان مثال ناحیه تهی در شکل ۱۵ متمایز شده است. نواحی مجاور و گره‌های فعال در نواحی مجاور در شکل ۱۶ نشان داده شده است.



شکل ۱۵: ناحیه تهی از گره

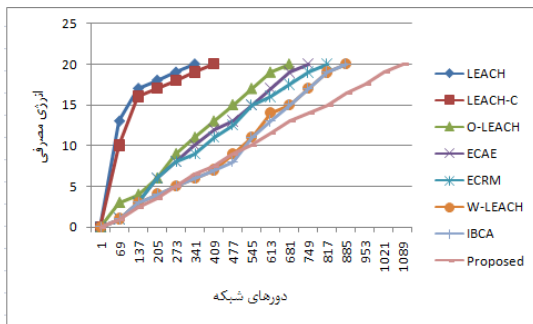
داده شده است. در این سناریو تعداد کل گره‌های حسگر مانند سناریو اول ۲۰۰ و انرژی اولیه گره‌های حسگر ۰/۱ ژول در نظر گرفته شده است که در یک محیط مربع شکل به ابعاد (۱۰۰×۱۰۰) پراکنده شده‌اند. براساس نتایج به دست آمده روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های مورد مقایسه از نظر مصرف انرژی در تمام دوره‌های شبکه عملکرد بهتری داشته و تعداد گره‌های خاموش در الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌ها در دوره‌های مختلف کم‌تر است. در شکل ۲۱ مقایسه‌ای بین اولین گره خاموش و خاموشی نصف گره‌ها در این سناریو بین سه روش مورد اشاره انجام شده است. براساس نتایج به دست آمده زمان خاموشی اولین گره، نصف گره‌ها و کل گره‌ها در روش‌های دیگر بسیار سریع‌تر از روش پیشنهادی می‌باشد. لذا طرح پیشنهادی در این سناریو نیز کارایی بهتری در مقایسه با روش‌های دیگر از خود نشان می‌دهد.



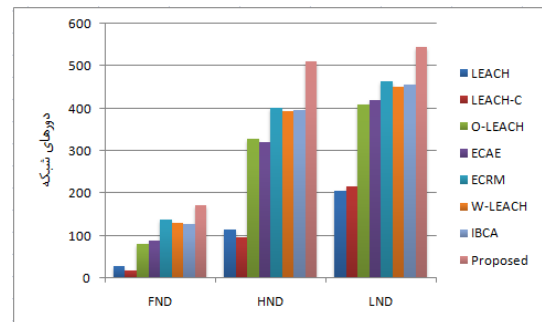
شکل ۱۷: گره‌های مرده در سناریو اول



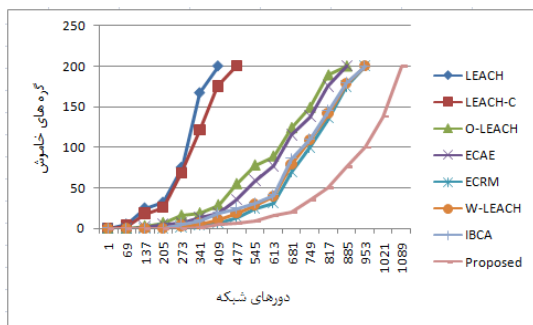
شکل ۱۸: انرژی مصرفی در سناریو اول



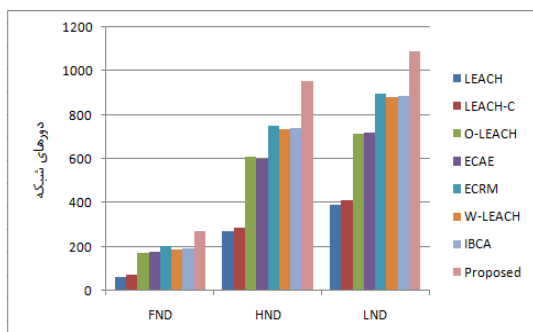
شکل ۲۰: مصرف انرژی در سناریو دوم



شکل ۱۹: FND، HND و LND در سناریو اول



شکل ۲۱: گره‌های مرده در سناریو دوم



شکل ۲۲: FND، HND و LND در سناریو دوم

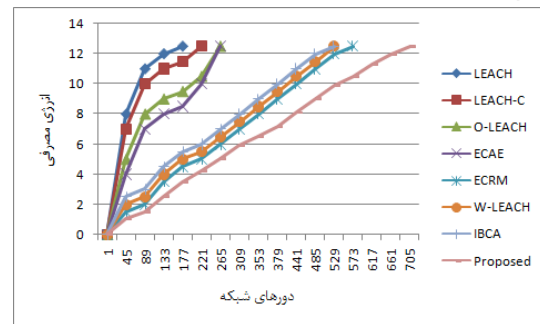
پارامترهای دیگری که در مقایسه روش‌های مختلف در شبکه حسگر بی‌سیم مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، زمان خاموشی اولین گره FND، خاموشی نیمی از گره‌ها HND و زمان خاموشی آخرین گره LND می‌باشد. در شکل ۱۹، FND، HND و LND حاصل از اجرای سناریو اول نشان داده شده است. واضح است که زمان خاموشی اولین گره در روش پیشنهادی دیرتر از بقیه روش‌ها رخ می‌دهد و این موضوع نمایانگر کارایی بهتر روش پیشنهادی می‌باشد. هم‌چنین HND و LND در روش پیشنهادی بسیار دیرتر از بقیه روش‌ها می‌باشد و این نکته نیز برتری روش پیشنهادی را دلالت می‌کند.

#### ۴-۱-۲- سناریو دوم

این سناریو با تغییراتی در سناریو اول ایجاد می‌شود تا تأثیر انرژی اولیه گره بر روند اجرای شبکه و نتایج آن مشاهده گردد. در سه شکل ۲۰، ۲۱ و ۲۲ خروجی حاصل از اجرای سناریو دوم نشان

۴-۱-۳- سناریو سوم

در شکل‌های ۲۳، ۲۴ و ۲۵ خروجی حاصل از اجرای سناریو سوم نشان داده شده است. در این سناریو تعداد گره‌های حسگر به ۲۵۰ عدد تغییر می‌کند و در این‌جا انرژی اولیه گره‌های حسگر ۰.۰۵ ژول است که در یک محیط مربع شکل به ابعاد (۱۰۰×۱۰۰) پراکنده شده‌اند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های سایر روش‌ها از نظر مصرف انرژی در تمام دوره‌های شبکه عملکرد بهتری دارد و تعداد گره‌های خاموش در الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با دیگر روش‌ها در دوره‌های مختلف کم‌تر است. در شکل ۲۵ مقایسه‌ای بین اولین گره خاموش، خاموشی نصف گره‌ها و خاموشی آخرین گره در این سناریو بین سه روش مورد اشاره انجام شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده زمان خاموشی اولین گره، کل گره‌ها و نصف گره‌ها در روش‌های دیگر بسیار سریع‌تر از روش پیشنهادی می‌باشد. لذا طرح پیشنهادی در این سناریو نیز کارایی بهتری در مقایسه با سایر روش‌ها نشان می‌دهد.



شکل ۲۳: مصرف انرژی در سناریو سوم

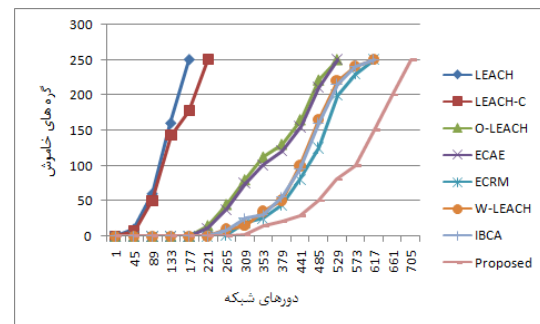
طبق نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی در شرایط مختلف و تغییر پارامترهای اساسی شبکه نظیر انرژی اولیه و تعداد گره‌ها به این نتیجه خواهیم رسید که روش پیشنهادی همواره نسبت به روش‌های دیگر انرژی کم‌تری را مصرف می‌کند و طول عمر طولانی‌تری را برای شبکه فراهم می‌کند. روش‌های ECRM، ECAE، IBCA و W-LEACH از روش‌های بسیار قوی در زمینه پوشش شبکه حسگر بی‌سیم هستند، بنابراین با اثبات برتری روش پیشنهادی بر این روش‌ها به‌خودی خود قدرت روش پیشنهادی نمایان می‌گردد. علت اصلی کارایی روش پیشنهادی استفاده از توزیع یکنواخت عادی در محیط، مسیریابی چندگامی، چرخه وظایف و ... می‌باشد.

۴-۱-۴- سناریو چهارم

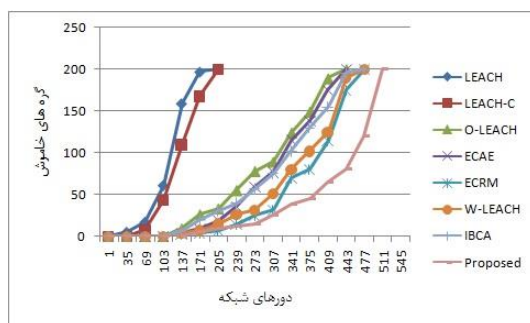
در سه شکل ۲۶، ۲۷ و ۲۸ خروجی حاصل از اجرای سناریو چهارم نشان داده است. در روش پیشنهادی راه‌کاری وجود دارد که بعضی از گره‌ها در دوره‌هایی از شبکه به‌حالت خاموشی خواهند رفت تا مصرف انرژی بهینه شود. یکی از ویژگی‌های این راه‌کار این است که، شکافی که در مسیریابی‌های گذشته وجود داشته است را برطرف کرده، و از ارسال اطلاعات تکراری در یک دور اجتناب می‌شود. اگرچه اغلب روش‌هایی که در مقایسه نتایج از آن‌ها استفاده شده است (مانند W-LEACH و IBCA) نیز از این راه‌کار استفاده کرده‌اند، ولی برای آن‌که از عدم وابستگی خیلی زیاد میزان نتایج به این راه‌کار مطمئن شویم، آزمایش حاضر در سناریو اول را با حذف راه‌کار خاموشی بعضی گره‌ها برای همه روش‌ها انجام داده و در سناریو چهارم آورده‌ایم. این آزمایش طبق سناریو اول با ۲۰۰ گره، ۰.۰۵ انرژی و ابعاد (۱۰۰×۱۰۰) می‌باشد.



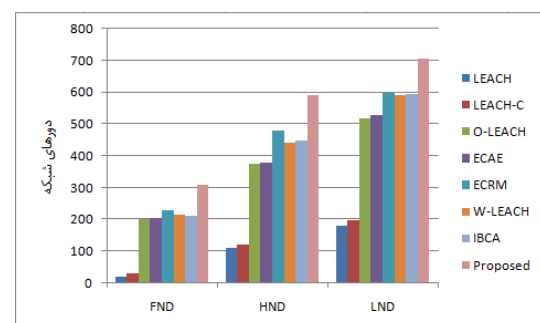
شکل ۲۶: مصرف انرژی در سناریو چهارم



شکل ۲۴: گره‌های خاموش در سناریو سوم



شکل ۲۷: گره‌های خاموش در سناریو چهارم

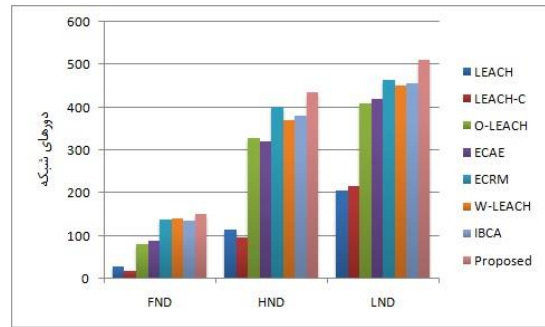


شکل ۲۵: FND، HND و LND در سناریو سوم

دلالت بر این دارد که روش پیشنهادی با حذف راه کار استراحت برخی گره‌ها که یکی از نوآوری‌ها و برتری‌های روش فوق نیز می‌باشد، کماکان توانسته کم‌ترین تعداد گره‌های مرده را در تمام حیات شبکه نسبت به سایر روش‌ها داشته باشد.

در جدول ۲ نتایج عددی سناریو ۲ در بخش تعداد گره‌های مرده در طول حیات شبکه را آورده‌ایم.

جدول ۳ ترتیب روش‌ها را بر اساس متوسط کارایی نشان می‌دهد. روش پیشنهادی دارای رتبه ۱ می‌باشد.



شکل ۲۸: نتایج عددی سناریو چهارم در FND، HND و LND

حال سؤال این است که آیا این ترتیب بهینه است. با انجام آزمون  $t$  بر روی این داده‌ها، جدول ۴ را داریم. در جدول ۴ همه ۸ روش در ۳۰ بار اجرا با هم دیگر مقایسه شده‌اند.

در شکل ۲۶ مشاهده می‌شود که با حذف راه کار استراحت گره‌ها در روش پیشنهادی، نمودار میزان مصرف انرژی با اندکی تغییر باز هم بهترین عملکرد را در بین روش‌های مورد مقایسه برای روش پیشنهادی داشته است. نمودار تعداد گره‌های مرده نیز در این سناریو

جدول ۲: نتایج عددی سناریو ۲ در بخش تعداد گره‌های مرده

دور	LEACH	LEACH-C	O-LEACH	ECAE	ECRM	W-LEACH	IBCA	Proposed
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶۹	۵	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳۷	۲۵	۱۸	۳	۲	۰	۰	۰	۰
۲۰۵	۳۲	۲۶	۷	۵	۰	۰	۰	۰
۲۷۳	۷۵	۶۸	۱۶	۷	۲	۳	۶	۰
۳۴۱	۱۶۷	۱۲۱	۱۹	۱۳	۴	۶	۱۰	۲
۴۰۹	۲۰۰	۱۷۵	۲۹	۱۹	۷	۱۱	۱۹	۵
۴۷۷	۲۰۰	۲۰۰	۵۵	۳۵	۱۴	۱۹	۲۵	۷
۵۴۵	۲۰۰	۲۰۰	۷۸	۵۹	۲۵	۲۹	۳۱	۱۰
۶۱۳	۲۰۰	۲۰۰	۸۹	۷۷	۳۱	۳۹	۴۱	۱۶
۶۸۱	۲۰۰	۲۰۰	۱۲۴	۱۱۵	۷۰	۷۹	۸۶	۲۱
۷۴۹	۲۰۰	۲۰۰	۱۴۹	۱۳۸	۱۰۰	۱۰۹	۱۱۰	۳۵
۸۱۷	۲۰۰	۲۰۰	۱۸۹	۱۷۵	۱۳۶	۱۴۲	۱۴۵	۵۰
۸۸۵	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۱۷۵	۱۷۸	۱۷۹	۷۶
۹۵۳	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۱۰۰
۱۰۲۱	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۱۳۸
۱۰۸۹	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰

جدول ۳: ترتیب روش‌ها بر اساس متوسط کارایی

Proposed (1)	IBCA (2)	W-LEACH (3)	ECRM (4)	ECAE (5)	O-LEACH (6)	LEACH-C (7)	LEACH (8)
--------------	----------	-------------	----------	----------	-------------	-------------	-----------

بهتر از روش  $j$  است. اگر درایه  $i$  و  $j$  در جدول قبل ۱- باشد یعنی از لحاظ آزمون آماری  $t$ ، کارایی این دو روش دارای اختلاف بامعنی است و روش  $j$  بهتر از روش  $i$  است. اگر درایه  $i$  و  $j$  در جدول قبل ۰ باشد، یعنی از لحاظ آزمون آماری  $t$ ، کارایی این دو روش دارای اختلاف بامعنی نیست و هیچ کدام از روش‌های  $i$  و  $j$  نسبت به دیگری بهتر نیست. نتایج جدول ۴ حاکی از برتری روش پیشنهادی بر سایر روش‌ها می‌باشد. جدول ۵ تحلیل واریانسی را برای روش پیشنهادی و سایر روش‌ها نشان می‌دهد. پارامترهای در نظر گرفته برای این قسمت همان پارامترهای ذکر شده در سناریوی اول می‌باشد.

جدول ۴: روش‌های گوناگون بر اساس بامعنی بودن متوسط کارایی

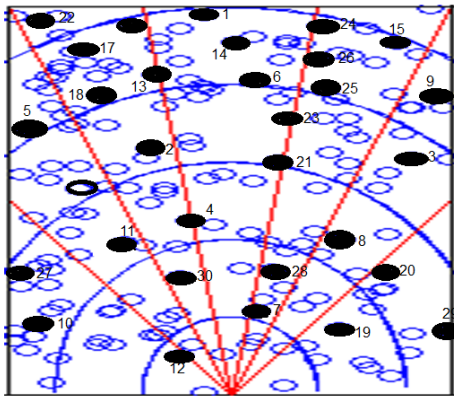
۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۰	-۱	-۱	-۱	۰	۰	-۱	۰	۱
-۱	-۱	-۱	-۱	-۱	-۱	۰	۱	۲
۰	-۱	-۱	-۱	۰	۰	۱	۱	۳
-۱	-۱	-۱	-۱	۰	۰	۱	۱	۴
۰	-۱	-۱	۰	۱	۱	۱	۱	۵
۰	-۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۶
-۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۷
۰	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۸

در جدول ۴ اگر درایه  $i$  و  $j$ ، ۱ باشد یعنی از لحاظ آزمون آماری  $t$ ، کارایی این دو روش دارای اختلاف بامعنی است و روش  $i$

**جدول ۵: تحلیل واریانس روش‌های گوناگون**

مقدار واریانس	الگوریتم
۷۸۳	Proposed
۸۶۱	IBCA
۸۸۴	W-LEACH
۹۲۴	ECRM
۹۲۹	ECAE
۷۸۰	O-LEACH
۸۶۸	LEACH-C
۸۰۴	LEACH

در این سناریو می‌خواهیم نشان دهیم که از میان این ۱۰۰ گره در نظر گرفته در چندین دور اول، کدام گره‌ها از بین می‌روند. در واقع می‌خواهیم نشان دهیم که آیا این گره‌های مرده به ایستگاه مرکزی نزدیک هستند یا خیر. هر چه گره‌هایی که از بین می‌روند از ایستگاه مرکزی دورتر باشند میزان مصرف انرژی شبکه نیز کم‌تر خواهد بود. شکل ۲۹، آن ۳۰ گرهی که در دوره‌های ابتدایی از بین می‌روند را نشان می‌دهد.



شکل ۲۶: ۳۰ گرهی که در دوره‌های ابتدایی از بین می‌روند

مقدار واریانس روش‌های گوناگون برای تعداد ۲۰۰ گره در ابعاد زمین ۱۰۰ در ۱۰۰ متر در جدول ۵ آمده است. این اعداد نشان‌دهنده مربع مجموع اختلاف مکان گره‌ها با میانگین گره‌های قرار گرفته در ابعاد زمین می‌باشد. طبیعی است که میزان واریانس کم‌تر برای گره‌ها بر مصرف بهینه انرژی تأثیر مستقیم و به‌سزایی دارد و هرچه این عدد کم‌تر باشد میزان انرژی که برای انتقال اطلاعات بین این گره‌ها مصرف می‌گردد، کم‌تر خواهد بود. حال با تقسیم زمین به نواحی مختلف در روش پیشنهادی زمین را به مناطقی تقسیم می‌کنیم که دارای واریانس کم‌تری خواهند بود. نواحی و واریانس هر ناحیه در جدول ۶ آورده شده است.

**جدول ۶: تحلیل واریانس نواحی در روش پیشنهادی**

ناحیه	(۱و۱)	(۱و۲)	(۱و۳)	(۱و۴)	(۱و۵)	(۱و۶)
واریانس	۱/۴۱	۴/۰۳	۱/۳۳	۱۴/۲	۰	۰
ناحیه	(۲و۱)	(۲و۲)	(۲و۳)	(۲و۴)	(۲و۵)	(۲و۶)
واریانس	۶/۰۱	۱/۶۵	۱/۵۵	۴/۷۹	۱/۰۹	۰
ناحیه	(۳و۱)	(۳و۲)	(۳و۳)	(۳و۴)	(۳و۵)	(۳و۶)
واریانس	۰	۰	۶/۶۹	۸/۹۷	۱۲/۳	۱/۳۹
ناحیه	(۴و۱)	(۴و۲)	(۴و۳)	(۴و۴)	(۴و۵)	(۴و۶)
واریانس	۱۸/۷	۳/۹۲	۵/۸۹	۵/۸۰	۵/۶۱	۰
ناحیه	(۵و۱)	(۵و۲)	(۵و۳)	(۵و۴)	(۵و۵)	(۵و۶)
واریانس	۳/۷۹	۱۹/۵	۱۳/۸	۱۵/۶	۶/۴۲	۰
ناحیه	(۶و۱)	(۶و۲)	(۶و۳)	(۶و۴)	(۶و۵)	(۶و۶)
واریانس	۰	۱۷/۱	۱۱/۲	۴/۱۳	۲/۰۷	۰
ناحیه	(۷و۱)	(۷و۲)	(۷و۳)	(۷و۴)	(۷و۵)	(۷و۶)
واریانس	۳/۱۷	۲/۵	۹/۲۴	۰	۰	۰

با توجه به شکل ۲۹ می‌توان دریافت که در روش پیشنهادی، گره‌های نزدیک به ایستگاه مرکزی زنده هستند و فقط یک گره در ناحیه اول از بین رفته است.

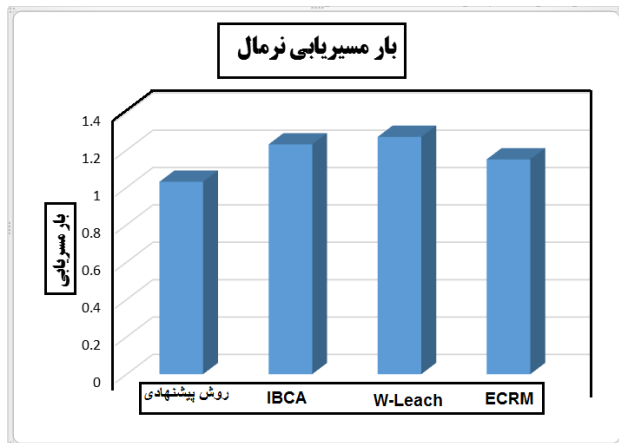
**۴-۱-۶- سناریوی ششم**

یکی از مهم‌ترین اهداف روش‌های خوشه‌بندی، کاهش میزان مصرف انرژی شبکه است. این آزمون با این هدف انجام می‌شود که نشان دهد روش خوشه‌بندی در حضور ارسال، دریافت و انتقال بسته‌های شبکه به ایستگاه مرکزی، چگونه توانسته است انرژی را حفظ نماید. در نمودار شکل ۳۰ مشاهده می‌شود که شبکه پیشنهادی پس از گذشت زمان ۱۰۰۰ ثانیه شبیه‌سازی دارای انرژی بالای ۶۰۰ ژول است. با این روند پیش‌بینی می‌شود که این روش تا زمان ۲۰۰۰ ثانیه نیز همچنان به فعالیت خود ادامه دهد. حال آن‌که روش‌های مشابه و هم‌ردیف بیش از ۵۰ درصد انرژی اولیه شبکه خود را از دست داده‌اند.

در این‌جا روش پیشنهادی با سه تا بهترین روش‌های قبلی مورد مقایسه قرار گرفته است. در این سناریو تعداد گره‌های حسگر ۲۰۰ در نظر گرفته شده و در این‌جا انرژی اولیه گره‌های حسگر ۰/۰۵ ژول است که در یک محیط مربع شکل به ابعاد (۱۰۰×۱۰۰) پراکنده شده‌اند. باید خاطر نشان کرد که فرآیند انتخاب سرخوشه و اندازه خوشه باید به‌گونه‌ای باشد که بار خوشه‌ها متعادل باشد. در صورتی که اندازه خوشه‌ها نامتوازن باشد، برخی از خوشه‌ها زودتر از بین می‌روند. در روش پیشنهادی خوشه‌ها متوازن می‌باشند. پس همان‌گونه که

**۴-۱-۵- سناریوی پنجم**

در این سناریو تعداد گره‌های حسگر ۱۵۰ در نظر گرفته شده و در این‌جا انرژی اولیه گره‌های حسگر ۰/۰۵ ژول است که در یک محیط مربع شکل به ابعاد (۱۰۰×۱۰۰) پراکنده شده‌اند.

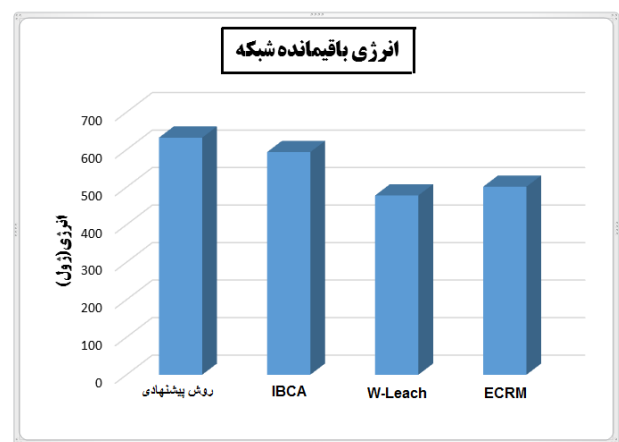


شکل ۳۱: آزمون مقایسه بار نرمال مسیریابی شبکه

### ۵- نتیجه‌گیری

شبکه حسگر بی‌سیم از صدها و یا هزاران دستگاه کوچک به نام گره حسگر تشکیل شده است که برای انجام وظیفه یا وظایف خاصی با یکدیگر در تعامل هستند. یک گره اطلاعات محیطی را توسط حسگرهای خود خوانده و آن را برای پردازش بیشتر و تصمیم‌گیری نهایی به مرکزی به نام ایستگاه پایه به وسیله اجزای مخابراتی خود (آنتن) ارسال می‌کند. محدودیت منابع یک گره از جمله منبع تغذیه چالش‌های جدیدی را برای شبکه حسگر بی‌سیم به وجود می‌آورد. با اتمام انرژی یک گره، عملاً آن گره از شبکه خارج شده و بلااستفاده خواهد ماند، در این وضعیت ممکن است اطلاعات بخشی از محیط قابل خواندن نباشد که به اصطلاح پوشش در آن ناحیه از بین می‌رود. می‌توان گفت با خاموشی گره‌های حسگر کارایی شبکه حسگر بی‌سیم به خطر می‌افتد. از این رو باید تکنیکی در نظر گرفت که علاوه بر برقراری پوشش سراسری در شبکه حسگر بی‌سیم، خاموشی گره‌ها دیرتر رخ دهد. هدف ما بهبود پوشش در شبکه حسگر بی‌سیم با استفاده از فرآیند چرخه وظایف بود به نحوی که کارایی شبکه را افزایش دهد. در طرح پیشنهادی محیط شبکه به نواحی مختلفی تقسیم و در هر ناحیه یک گره به عنوان گره فعال انتخاب می‌شود. چنانچه در یک ناحیه گره فعالی وجود نداشته باشد، از گره‌های مجاور یک گره به ناحیه مورد نظر ارسال می‌گردد. طبق نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی، روش پیشنهادی توانسته است به میزان قابل قبولی کارایی شبکه را افزایش دهد. در بخش ارزیابی، طرح پیشنهادی با پروتکل پایه‌ای LEACH و ۶ روش مشابه در شرایط و سناریوهای مختلف مقایسه شده است. این دو طرح به دلیل تاریخ انتشار، نزدیکی به طرح پیشنهادی و اعتبار آن‌ها انتخاب شده‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده، روش ارائه شده با استفاده از ناحیه‌بندی محیط، تخمین اتفاق آرا و چرخه وظایف پوشش سراسری در شبکه بی‌سیم را به میزان قابل قبولی بهبود داده است. این میزان بهبود که با استفاده از نرم افزار MATLAB اندازه‌گیری شده است، حدوداً ۶۰ درصد نسبت به روش

شکل ۳۰ مشخص است این توازن خوشه‌بندی توانسته باعث بهبود کارایی روش پیشنهادی شود. شاید این سؤال پیش آید که در روش پیشنهادی، اندازه خوشه‌ها کوچک در نظر گرفته شده‌اند و در نتیجه این اندازه کوچک خوشه‌ها باعث افزایش تعداد خوشه‌ها و در نتیجه افزایش مصرف انرژی در شبکه شود. در پاسخ به این سؤال می‌توان گفت که، در صورتی که تعداد خوشه از حد ایده آل بیشتر باشد باعث سربار ارتباطات برون خوشه‌ای می‌گردند، از سوی دیگر کم‌تر بودن تعداد خوشه‌ها از حد ایده‌آل، باعث تخلیه زودتر سرخوشه و به دنبال آن تعویض زود هنگام سرخوشه می‌گردند. بنابراین در ست است که در روش پیشنهادی اندازه خوشه‌ها نسبتاً کوچک می‌باشد ولی تعداد خوشه‌ها در حد ایده‌آل در نظر گرفته شده است.



شکل ۳۰: آزمون میزان انرژی باقیمانده شبکه پس از ۱۰۰۰ ثانیه شبیه‌سازی

### ۴-۱-۷- سناریوی هفتم

یک پارامتر دیگر که در ارزیابی نتایج شبیه‌سازی بررسی کرده‌ایم پارامتر بار نرمال مسیریابی<sup>۱۱</sup> است. هر چه مقدار این پارامتر کم‌تر باشد نشان‌دهنده بارگذاری سریع‌تر مسیریابی است. این پارامتر نیز جزء موارد مهم و تأثیرگذار در امر مسیریابی شبکه بوده و مطابق رابطه (۳) قابل محاسبه است:

$$NRL = \frac{Sent\ Data + Forward\ Packet}{Recieved\ Data} \times 100 \quad (3)$$

به عبارتی پارامتر بار نرمال مسیریابی، نسبت مجموع داده ارسال شده و جلو رانده شده بر داده دریافت شده در شبکه بوده که برحسب درصد محاسبه گردیده است. مسلماً هر قدر این میزان درصد پایین‌تری باشد برآیند راندمان شبکه بهتر است.

شکل ۳۱ آزمون بار مسیریابی نرمال را برای روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌ها نشان می‌دهد. نتایج این شکل نشان‌دهنده راندمان بهتر روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌ها می‌باشد.

- [۸] رضا رافع و فرشته خدادادی، «ارائه یک الگوریتم شناسایی گره‌های کپی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به کمک انتشارات محلی و کانال‌های گرم‌چاله قانونی»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، دوره ۴۴، شماره ۴، صفحه ۲۹، ۱۳۹۳.
- [9] G. J. Fan, S. Y. Jin, "Coverage Problem in Wireless Sensor Network: A Survey," *Journal of Networks*, vol. 5, no. 9, pp. 1033-1040, 2010.
- [۱۰] شهرام جمالی و توفان سماپور، «کنترل ازدحام مبتنی بر تخمین در شبکه‌های موردی بی‌سیم»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، دوره ۴۳، شماره ۱، صفحه ۲، ۱۳۹۲.
- [11] D. P. Nudurupati, R. K. Singh, "Enhancing Coverage Ratio using Mobility in Heterogeneous Wireless Sensor Network," *Procedia Technology*, vol. 10, no. 1, pp. 538 – 545, 2013.
- [12] H. Yang, K. Tang, J. Yu, L. Zhu, "A practical information coverage approach in wireless sensor network," *Information Processing Letters*, vol. 115, no. 1, pp. 6–10, 2015.
- [13] D. P. Nudurupati, R. K. Singh, "Enhancing Coverage Ratio using Mobility in Heterogeneous Wireless Sensor Network," *Procedia Technology*, vol. 10, no. 1, pp. 538 – 545, 2013.
- [14] H. Le, D. Hoang, R. Poliah, "S-Web: An Efficient and Self-organizing Wireless Sensor Network Model," *Chapter Network-Based Information Systems*, vol. 5186, no. 1, pp. 179-188, 2008.
- [15] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," in *IEEE International Conference on System Sciences*, 2000.
- [16] W. B. Heinzelman, A P. Chandrakasan, H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 1, no. 4, 2002.
- [17] S. E. KHEDIRI, N. NASRI, A. WEI, A. KACHOURI, "A New Approach for Clustering in Wireless Sensors Networks Based on LEACH," *Elsevier B.V. Open access under CC BY-NC-ND license*, 10.1016/j.procs.05.551, 2014.
- [18] A. Marhoon, A. Dyesh, "A New Coverage Improvement Algorithm Based on LEACH Protocol," *Journal of Basrah Researches (Sciences)*, vol. 39, no. 3, 2013.
- [19] H. Abdulsalam, L. Kamel, "W-LEACH: Weighted Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy Aggregation Algorithm for Data Streams in Wireless Sensor Networks," *IEEE International Conference on Data Mining Workshops*, 2010.
- [20] Y. Chen, M. Chen, F. Cheung, Y. Chang, "A New Hybrid Architecture with an Intersection-Based Coverage Algorithm in Wireless Sensor Networks," *Computer Science and Information Systems*, vol. 11, no. 3, pp. 1017–1035, 2014.

LEACH و ۲۰ درصد نسبت به ECRM، که بهترین نتایج را در بین دیگر روش‌ها داشته است، می‌باشد.

در طرح پیشنهادی، مسیریابی به صورت چندگامی باعث بروز پدیده‌ای به نام حفره چاهک یا نقطه داغ می‌شود، بدین صورت که گره‌های لایه اول بار زیادی را تحمل می‌کنند. برای حل این مشکل چندین راه‌حل وجود دارد که یکی از آن‌ها حرکت چاهک در محیط است. امکان حرکت چاهک در محیط، تعیین مسیر حرکت و ... از مشکلات این طرح است. برای جلوگیری از به وجود آمدن نقطه داغ می‌توان از ارسال مستقیم استفاده کرد. به این صورت که هر گره اطلاعات خود را مستقیم به چاهک ارسال کند. در این صورت نقطه داغ پیرامون چاهک ایجاد نمی‌شود ولی گره‌های لایه آخر، به دلیل مصرف بسیار زیادی انرژی برای ارسال اطلاعات به چاهک، به سرعت خاموش می‌شوند. راه‌حل دیگر، حرکت گره‌ها در محیط به منظور برقراری توازن بار می‌باشد. چگونگی حرکت گره در محیط، قابلیت حرکت، انرژی مصرفی برای حرکت و ... نیز چالش‌های طرح‌هایی از این دست هستند. در کل ارائه طرحی برای مقابله با این موضوع نیاز به بررسی و مطالعه بیشتر دارد که این امر به علاقه‌مندان برای کارهای آتی واگذار می‌گردد.

## مراجع

- [1] P. Prasad, "Recent trend in wireless sensor network and its applications: a survey," *Sensor Review*, vol. 35, no. 2, pp. 229 – 236, 2015.
- [2] A. P. V. Sarkari, "Wireless Sensor Network," *Asian Journal of Computer Science and Information Technology*, vol. 4, no. 7, pp. 67-71, 2014.
- [3] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer Networks*, vol. 38, no. 2, pp. 393–422, 2002.
- [4] A. Ghosh, S. K. Das, "Coverage and connectivity issues in wireless sensor networks: A survey," *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 4, no. 3, pp. 303–334, 2008.
- [5] C. Zhu, C. Zheng, L. Shu, G. Han, "A survey on coverage and connectivity issues in wireless sensor networks," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 35, no. 2, pp. 619–632, 2013.
- [6] X. Wang, G. Xing, Y. Zhang, C. Lu, R. Pless, C. Gill, "Integrated coverage and connectivity configuration in wireless sensor networks," *Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems*, pp. 28 – 39, 2003.
- [7] P. Hall, *Introduction to the Theory of Coverage Processes*, Wiley Series in Probability and Statistics (Book 201), Wiley, New York, 1998.

## زیرنویس‌ها

<sup>6</sup> Solar Cells

<sup>7</sup> Global Positioning System (GPS)

<sup>8</sup> Enhancing Coverage Ratio using Mobility (ECRM)

<sup>9</sup> Advance Nodes

<sup>10</sup> Normalized Routing Load

<sup>1</sup> Omnidirectional

<sup>2</sup> Unidirectional

<sup>3</sup> Active

<sup>4</sup> Coverage

<sup>5</sup> Quality of Service (QoS)