

## ارائه پروتکلی برای توزیع گره‌های چاهک در شبکه‌های حسگر متحرک تحمل‌پذیر نسبت به تاخیر

علی غفاری<sup>۱</sup>، سمیه دباغی‌پور<sup>۲</sup> و زینب متقی‌نیا<sup>۳</sup>  
گروه کامپیوتر، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران  
<sup>۱</sup> a.ghaffari@iaut.ac.ir, <sup>۲</sup> S.dabaghipoor@gmail.com, <sup>۳</sup> z.mottagy@gmail.com

چکیده - شبکه‌های حسگر متحرک تحمل‌پذیر نسبت به تاخیر دارای ساختار شبکه‌ای هستند که با مشخصه‌هایی مانند قطع ارتباطات مکرر و طولانی مدت، محدودیت انرژی، متحرک بودن گره‌ها و تحمل‌پذیری تاخیر شناخته می‌شوند. در مقایسه با شبکه‌های متداول، ویژگی برجسته این شبکه‌ها، عدم وجود مسیر انتها به انتها بین مبدا و مقصد می‌باشد. با توجه به محدودیت انرژی، یکی از موضوعات حیاتی در شبکه‌های با مقیاس بزرگ، ذخیره انرژی است که با توزیع چندین گره چاهک به صورت همزمان در شبکه می‌توان بر این مسئله فائق آمد. در این مقاله جهت پوشش مساحت‌های بزرگ، با تعیین برد رادیویی جدید برای گره‌های چاهک، از حضور گره‌ها در برد رادیویی چندین چاهک و از ارسال داده به تعداد زیادی گره چاهک جلوگیری می‌شود. سپس روش جمع‌آوری داده مبتنی بر تکرار ارائه می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند که روش پیشنهادی، کارایی بالاتری نسبت به روش‌های قبلی موجود در شبکه‌های حسگر تحمل‌پذیر نسبت به تاخیر دارد. کلید واژه‌ها- شبکه‌های حسگر متحرک تحمل‌پذیر نسبت به تاخیر، چاهک‌های متعدد، روش جمع‌آوری داده مبتنی بر تکرار.

گره‌ها جلوگیری می‌کنند، شبکه را در یک حالت منفصل قرار می‌دهند و باعث ایجاد ارتباط متناوب و نامطمئن در شبکه می‌گردد. در سال‌های اخیر، شبکه‌های حسگر متحرک تحمل‌پذیر نسبت به تاخیر<sup>۲</sup> (DTMSNs) [۴-۸] برای پوشش‌دهی مشکلات اشاره شده در بالا، پیشنهاد شده است.

DTMSNs زیر مجموعه‌ای از شبکه‌های تحمل‌پذیر نسبت به تاخیر<sup>۳</sup> هستند [۹-۱۵] که معمولاً از دو نوع گره تشکیل شده‌اند: گره‌های حسگر و چاهک<sup>۴</sup>. گره‌های حسگر به اشیا متحرک وصل شده و اطلاعات مورد نیاز را جمع‌آوری می‌کنند و یک شبکه حسگر متحرک با اتصالات ضعیف و ناپایدار برای تحویل داده، تشکیل می‌دهند، گره‌های چاهک نیز به صورت ثابت یا متحرک برای جمع‌آوری داده از حسگرها و ارسال آنها به کاربر نهایی استفاده می‌شوند. در تمام کاربردهای شبکه‌های حسگر متحرک تحمل‌پذیر نسبت به تاخیر، از الگوی ارتباطی که

### ۱. مقدمه

با پیشرفت سریع در علم میکرو الکترونیک و ارتباطات بی‌سیم، امکان ساخت گره حسگر با قدرت پردازشی و محاسباتی، مصرف انرژی کم، ارتباطات بی‌سیم با هزینه محدود فراهم گشته‌است، بنابراین استفاده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم، گسترده‌تر شده است. اغلب برنامه‌های کاربردی شبکه‌های حسگر بی‌سیم<sup>۱</sup> (WSN) [۱ و ۲]، از شمار زیادی گره‌های حسگر که در ناحیه مورد نظر به صورت متراکم توزیع شده، تشکیل شده‌اند و برای مواردی همچون نظارت بر محیط زیست طبیعی [۳] و درمان‌های پزشکی مناسب هستند، اما شرایطی وجود دارد که استفاده از پروتکل‌های شبکه‌های حسگر سنتی را غیر ممکن می‌سازد، همچون محدودیت برد رادیویی گره‌ها، تحرک، خلوت بودن شبکه و برخی فاکتورهای فیزیکی از ارتباط همیشگی میان

<sup>2</sup> Delay tolerant mobile Sensor Network

<sup>3</sup> Delay tolerant Network

<sup>4</sup> Sink

<sup>1</sup> Wireless Sensor Network

داده را به صورت مستقیم هنگامی که با گره چاهک در ارتباط باشد، ارسال می‌کند. این روش از سربار ارتباطی کم ولی تاخیر تحویل داده زیادی برخوردار است. به علاوه این روش به اتصال گره‌های حسگر و گره چاهک وابسته است و هنگامی که تعداد گره‌های چاهک کم و شبکه پراکنده باشد، از نرخ تحویل داده بسیار کمی برخوردار می‌شود. در مسیریابی Epidemic [۲۳]، هر گره حسگر دارنده پیغام داده، یک کپی از آن را به گره‌هایی که با آنها مواجه می‌شود، ارسال می‌کند. گره‌های سیار، پیغام داده را در کل شبکه منتشر می‌کنند. اگر منابع شبکه مانند باتری، حافظه، میانگیر گره‌ها و ... به حد کافی در دسترس باشد، این روش نرخ تحویل خیلی بالایی خواهد داشت ولی از آنجایی که منابع شبکه محدوداند، این مسیریابی کارایی بالایی نداشته و باعث مصرف سریع منابع شبکه شده و طول عمر شبکه را پایین می‌آورد [۲۴]. روش‌های متعددی برای کنترل انتشار پیغام به صورت سیل آسا ارائه شده‌است [۳۰-۲۵]. RED [۳۱] که پروتکل تحویل داده موثر مبتنی بر کپی است از دو جزء کلیدی برای تحویل داده و مدیریت پیغام تشکیل شده است. ۱- تحویل داده از متد مبتنی بر تاریخچه مثل ZebraNet برای محاسبه احتمال تحویل گره‌های حسگر استفاده می‌کند. ۲- الگوریتم مدیریت پیام برای بهبود نرخ تحویل داده براساس احتمال تحویل کنونی گره حسگر پارامترهای کدگذاری پاک‌شدگی بهینه را تعیین می‌کند. فرکانس به‌روزرسانی احتمال تحویل داده در RED معمولاً پایین است و امکان دارد گره‌های حسگری که از چاهک دورند احتمال تحویل بالاتری داشته‌باشند. بنابراین متد مبتنی بر تاریخچه کارایی چندانی ندارد و نمی‌تواند توانایی واقعی گره حسگری که پیغام داده را به چاهک ارسال می‌کند تعیین کند. به علاوه، در مبحث مدیریت پیام، تبلیغ پیام‌های کوچک در شبکه ممکن است، سربار پردازش را بیشتر کنند و ناکارآمدی استفاده از پهنای باند را متحمل شوند. FAD [۳۲] پروتکلی است که برای افزایش نرخ تحویل داده ارائه شده است. در این روش علاوه بر روش محاسبه احتمال تحویل پیغام داده، بیشتر در این مورد بحث می‌شود که چگونه می‌توان تعداد تکرار پیغام‌های داده بر روی شبکه‌های حسگر را با استفاده از میزان تحمل‌پذیری هر پیغام داده محدود کرد. این پروتکل هنوز سربار نسبتاً بالایی دارد. جهت بهبود کارایی پروتکل DRADG [۳۳]، ارائه شد. این پروتکل نیز از روش مبتنی بر کپی پیغام داده بهره می‌گیرد با این تفاوت که DRADG، به صورت پویا، براساس مسافت بین گره حسگر تولیدکننده پیغام و گره چاهک، در مورد

در آن داده‌ها از مجموعه‌ای از گره‌های حسگر، جمع آوری شده و به سمت گره چاهک ارسال می‌شود، استفاده می‌شود. در برخی سناریوها، تنها از یک گره چاهک استفاده می‌شود ولی بسیاری از کاربردهای این شبکه‌ها، نیازمند چندین گره چاهک هستند. کارهای تحقیقاتی زیادی روی شبکه‌هایی با چندین گره چاهک با اهداف گوناگون انجام شده است که از جمله این اهداف، چگونگی توسعه گره‌های چاهک در مکان‌های بهینه است که بتوانند مسافت‌های بزرگتری را پوشش دهند.

از مزایای وجود چندین گره چاهک در شبکه در مقایسه با یک گره چاهک می‌توان به چند مورد اشاره کرد [۱۶]، وجود چندین گره چاهک در شبکه از عدم ارسال داده‌ها به ایستگاه پایه در هنگام نامعتبر بودن یکی از گره‌های چاهک جلوگیری می‌کند. هنگامی که یک گره چاهک با شکست مواجه می‌شود، داده‌ها می‌توانند به گره‌های چاهک دیگر، انتقال داده شوند که قابلیت اطمینان شبکه را بالا می‌برد. همچنین چندین گره چاهک از مصرف انرژی نامتوازن در میان گره‌های حسگر جلوگیری می‌کند. در شبکه‌های حسگر با چندین گره چاهک، وزن انتقال داده‌ها مابین تمام چاهک‌ها پخش شده، در نتیجه موجب مصرف انرژی متعادل و افزایش طول عمر شبکه می‌گردد. خصوصاً در DTMSNs که به دلیل نبود اتصال انتها به انتها، منابع شبکه، سریع مصرف می‌شوند، نیاز به چندین گره چاهک بیش از پیش، احساس می‌شود.

براساس مطالعاتی که در زمینه شبکه‌های حسگر تحمل‌پذیر نسبت به تاخیر انجام داده‌ایم، تا حال بحث توسعه گره‌های چاهک برای پوشش مساحت‌های بزرگتر، براساس تغییر برد رادیویی‌شان در این نوع شبکه‌ها ارائه نشده و برای اولین بار در این مقاله پیشنهاد گردیده است. این مقاله از بخش‌های زیر تشکیل شده است: در بخش ۲ مروری از کارهای پیشین، نوشته شده است، در بخش ۳ پروتکل پیشنهادی خود را ارائه می‌دهیم، در بخش ۴ نتایج شبیه‌سازی بررسی می‌شود و در بخش آخر از کار خود نتیجه‌گیری می‌کنیم.

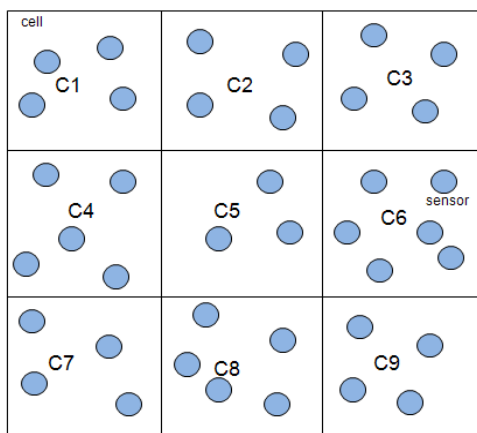
## ۲. کارهای پیشین

روش‌های سنتی مسیریابی به علت تحرک گره‌ها، رنج ارتباطی محدود، تراکم پراکنده شبکه و غیره در DTNs کارایی ندارند [۲۱-۱۷]. در [۲۲] نویسندگان روش مسیریابی ساده‌ای به نام Direct transmission را ارائه داده‌اند که گره حسگر، پیغام

### ۱.۳. مدل شبکه

فرض بر این است که  $N$  گره حسگر و  $M$  گره چاهک در محیط عملیاتی در مستطیلی به مساحت  $X \times Y$  به صورت تصادفی توزیع شده‌اند. اتصال بین گره‌های حسگر به دلیل تحرک متناوب می‌باشد. گره‌های حسگر همگن بوده و دارای برد ارتباطی یکسان به اندازه  $r$  هستند. همچنین همه گره‌ها از لحاظ زمان همگام‌سازی شده‌اند و دارای شناسه<sup>۶</sup> (ID) منحصر به فردی هستند. سایر ویژگی‌های شبکه به صورت زیر می‌باشد:

- الف) کل مساحت همانند شکل ۱ به چندین سلول<sup>۷</sup> تقسیم می‌شود که هیچ یک از این سلول‌ها همپوشانی ندارند.
- ب) تحرک گره‌ها در شبکه به صورت مستقل از یکدیگر هستند و مبتنی بر مدل نقطه راه تصادفی<sup>۸</sup> [۳۴ و ۳۵] می‌باشد.
- د) فرض بر این است که گره‌های چاهک در موقعیت‌های خود ثابت هستند و دارای حداکثر برد رادیویی یکسان به مقدار  $R$  بوده و نیز مانند حسگرها دارای شناسه منحصر به فرد هستند.
- ه) در گره‌های حسگر و چاهک از سیستم موقعیت‌یاب جهانی<sup>۹</sup> [۳۶] استفاده شده است و هر گره قادر به محاسبه موقعیت مکانی خود است.



شکل ۱: مدل شبکه

ر) یک گره چاهک مانند گره  $Q$ ، نیز در جدولی اطلاعات محلی خود را نگه می‌دارد، که این جدول دارای فیلدهای: ۱- سرآیند ۲- شناسه گره چاهک ۳- گروه مشخصه ۴- مختصات محلی است. شکل ۲ ساختار سرآیند گره چاهک را نشان می‌دهد:

شمار کپی‌های پیغام داده تصمیم‌گیری می‌کند. هر چه فاصله بین گره حسگر و چاهک کمتر باشد، تعداد کپی‌های ایجاد شده از یک پیغام داده کاهش می‌یابد. هر گره حسگر پیغام داده‌اش را به گره‌هایی ارسال می‌کند که اخیراً با چاهک ملاقاتی داشته‌اند. مشکلی که این روش دارد این است که انرژی موجود گره را در تعیین تعداد کپی‌های یک پیغام در نظر نمی‌گیرد و ممکن است یک گره حسگر با تولید کپی‌هایی از یک پیغام داده انرژی‌اش به اتمام برسد و باعث ایجاد حفره در شبکه و کاهش طول عمر شبکه شود، همچنین در ارسال پیغام داده‌ها جهت حرکت گره را در نظر نمی‌گیرد.

### ۳. روش پیشنهادی

بحث مهم در شبکه‌های حسگر تحمل‌پذیر نسبت به تاخیر، چگونگی توسعه گره‌های چاهک در مساحت‌های بزرگ است که با وجود ارتباطات متناوب بین گره‌ها، در افزایش نرخ تحویل داده و کاهش تاخیر تحویل داده موثر باشد. همچنین، جهت کنترل مصرف انرژی در گره‌ها، با محدود کردن برد رادیویی گره‌های چاهک، از حضور گره‌ها در برد رادیویی چندین چاهک و از ارسال داده به تعداد زیادی گره چاهک جلوگیری می‌شود. ما در این مقاله روش مسیریابی<sup>۵</sup> MSRP را ارائه دادیم. در روش پیشنهادی ما، با تقسیم محیط عملیاتی و گروه بندی گره‌های چاهک، برد رادیویی جدید برای گره‌های چاهک محاسبه می‌شود، سپس روش تحویل داده مبتنی بر کپی، برای ارسال داده در شبکه استفاده می‌گردد. در این بخش، ما پروتکل پیشنهادی خود را با جزئیاتش توصیف خواهیم کرد.

در طول مراحل تعیین برد رادیویی، هر گره چاهک جهت اطلاع از موقعیت گره‌های چاهک همسایگی خود، پیغام Hello را به صورت همه‌پخش ارسال می‌کند. هر گره به محض دریافت پیغام، شناسه و اطلاعات محلی خود را به فرستنده ارسال می‌کند. بنابراین هر گره چاهک، گره‌های چاهک همسایگی خود را شناسایی می‌کند.

<sup>۵</sup> Multi Sink Routing Protocol

<sup>۶</sup> Identifier

<sup>۷</sup> Cell

<sup>۸</sup> Random way point

<sup>۹</sup> Global positioning system (GPS)

گروه‌های چاهک داخل مستطیل (۱):

$$\begin{aligned} nsink_{t1} &= nsink_{t1} + 1 \\ X_{top1}(nsink_{t1}) &= X_Q \\ Y_{top1}(nsink_{t1}) &= Y_Q \\ nsink_{l2} &= nsink_{l2} + 1 \\ X_{left2}(nsink_{l2}) &= X_Q \\ Y_{left2}(nsink_{l2}) &= Y_Q \end{aligned} \quad (1)$$

گروه‌های چاهک داخل مستطیل (۲):

$$\begin{aligned} nsink_{t2} &= nsink_{t2} + 1 \\ X_{top2}(nsink_{t2}) &= X_Q \\ Y_{top2}(nsink_{t2}) &= Y_Q \\ nsink_{r2} &= nsink_{r2} + 1 \\ X_{right2}(nsink_{r2}) &= X_Q \\ Y_{right2}(nsink_{r2}) &= Y_Q \end{aligned} \quad (2)$$

گروه‌های چاهک داخل مستطیل (۳):

$$\begin{aligned} nsink_{u1} &= nsink_{u1} + 1 \\ X_{under1}(nsink_{u1}) &= X_Q \\ Y_{under1}(nsink_{u1}) &= Y_Q \\ nsink_{l1} &= nsink_{l1} + 1 \\ X_{left1}(nsink_{l1}) &= X_Q \\ Y_{left1}(nsink_{l1}) &= Y_Q \end{aligned} \quad (3)$$

گروه‌های چاهک داخل مستطیل (۴):

$$\begin{aligned} nsink_{u2} &= nsink_{u2} + 1 \\ X_{under2}(nsink_{u2}) &= X_Q \\ Y_{under2}(nsink_{u2}) &= Y_Q \\ nsink_{r1} &= nsink_{r1} + 1 \\ X_{right1}(nsink_{r1}) &= X_Q \\ Y_{right1}(nsink_{r1}) &= Y_Q \end{aligned} \quad (4)$$

که در روابط (۱)، (۲)، (۳) و (۴)،  $nsink_{t1}$ ،  $nsink_{l2}$ ،  $nsink_{t2}$ ،  $nsink_{r2}$ ،  $nsink_{u1}$ ،  $nsink_{l1}$ ،  $nsink_{u2}$ ،  $nsink_{r1}$  به ترتیب از راست به چپ برابر شمار گروه‌های چاهک موجود در زیر گروه‌های  $top1$  و  $top2$ ،  $under1$ ،  $under2$ ،  $left1$ ،  $left2$ ،  $right1$ ،  $right2$  می‌باشد.

اگر احتمالاً یکی از گروه‌های چاهک در مرز بین دو مستطیل قرار گرفت، در این صورت آن را عضو یکی از این دو مستطیل در نظر می‌گیریم یعنی اگر گروه چاهک در مرز بین مستطیل ۱ و ۲ یا مستطیل ۳ و ۴ قرار گیرد، گروه مورد نظر را به ترتیب عضو مستطیل ۱ و ۳ در نظر می‌گیریم و همچنین اگر گروه چاهک در مرز بین مستطیل ۱ و ۳ یا مستطیل ۲ و ۴ قرار گیرد، گروه مورد

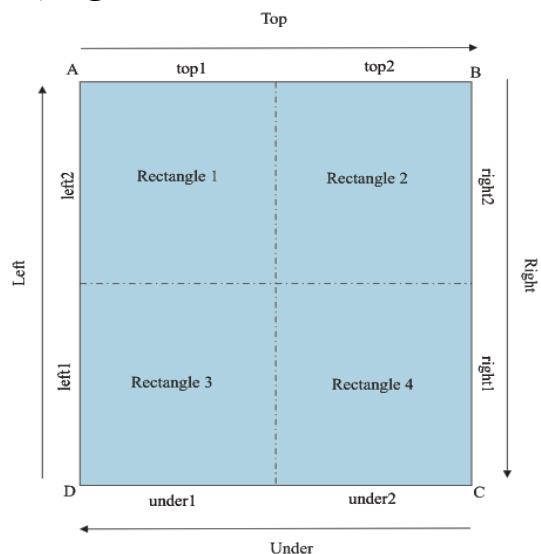
Header	Sink ID	Sink group	Sink location
--------	---------	------------	---------------

شکل ۲: ساختار سرآیند گروه چاهک

### ۲،۳. تقسیم محیط عملیاتی و گروه بندی گروه‌های چاهک

در ابتدا، محیط عملیاتی مورد نظر را به صورت مجازی به چهار قسمت مساوی تقسیم می‌کنیم. هر گروه چاهک با توجه به موقعیت خود در محیط عملیاتی، گروه مورد نظرش را مشخص می‌کند. شکل ۳ طبقه تقسیم ناحیه مذکور را نشان می‌دهد. اگر گروه چاهک در مستطیل ۱ قرار گرفته باشد، عضو زیرگروه‌های  $top1$  و  $left2$  می‌باشد، اگر در مستطیل ۲ واقع شده باشد، عضو  $top2$  و  $right2$  است، اگر محل قرار گیری گروه در مستطیل ۳ باشد، عضو زیرگروه‌های  $left1$  و  $under1$  می‌باشد و در نهایت اگر در مستطیل ۴ قرار گیرد، عضو زیرگروه‌های  $right1$  و  $under2$  خواهد بود.

هر گروه از دو زیرگروه تشکیل شده است که هر یک برابر است با مجموع گروه‌های چاهک موجود در زیرگروه‌های ۱ و ۲ مربوط به هر ناحیه. به عنوان مثال: گروه  $Top$  برابر مجموع گروه‌های چاهک موجود در زیرگروه‌های  $top1$  و  $top2$  است. فرض می‌کنیم، شمار اولیه گروه‌های موجود در هر گروه برابر صفر است. اگر  $Q \in M$  یکی از گروه‌های چاهک موجود در شبکه باشد، مختصات جغرافیایی آن برابر  $(X_Q, Y_Q)$  در نظر می‌گیریم. برای گروه‌بندی گروه‌های چاهک موجود در مستطیل‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب از روابط (۱)، (۲)، (۳) و (۴) استفاده می‌کنیم.



شکل ۳: تقسیم محیط عملیاتی

نظر را به ترتیب عضو مستطیل ۳ و ۴ در نظر می‌گیریم.

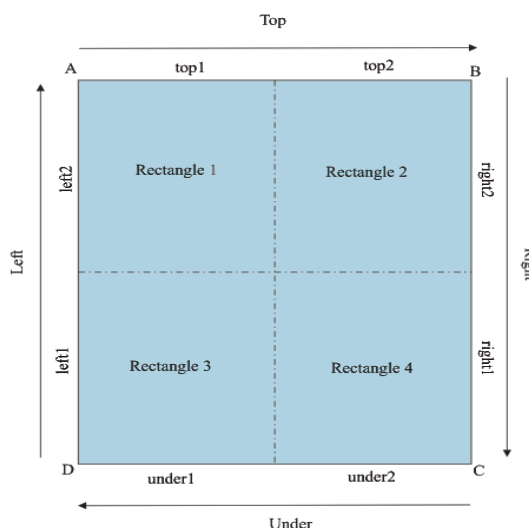
بعد از محاسبه مختصات گره‌ها و گروه بندی آنها، شمار گره‌ها در هر گروه را از رابطه (۵) به دست می‌آوریم:

$$\begin{aligned} nsink_t &= nsink_{t1} + nsink_{t2} \\ nsink_u &= nsink_{u1} + nsink_{u2} \\ nsink_r &= nsink_{r1} + nsink_{r2} \\ nsink_l &= nsink_{l1} + nsink_{l2} \end{aligned} \quad (5)$$

که در رابطه (۵)،  $nsink_t, nsink_u, nsink_l, nsink_r$  به ترتیب برابر شمار گره‌های چاهک موجود در گروه‌های  $left, right, under$  و  $top$  می‌باشد.

### ۳.۳. اصلاحاتی در مختصات جغرافیایی گره‌های چاهک

بعد از گروه‌بندی گره‌های چاهک، در مختصات جغرافیایی هر یک از گره‌ها اصلاحاتی براساس جهات مشخص شده برای هر گروه، با توجه به شکل ۴ صورت می‌پذیرد. دقت شود که هیچ جابجایی در مکان گره‌ها صورت نمی‌گیرد، گره‌ها در مکان خود ثابت هستند. تنها مختصات گره‌ها براساس جهت داده شده عوض می‌شود نه مکان. حال مختصات جغرافیایی هر یک از گره‌های موجود در گروه‌های  $top, under, left$  و  $right$  به ترتیب توسط روابط (۶)، (۷)، (۸) و (۹) اصلاح می‌گردد.



شکل ۴: تغییر مختصات جغرافیایی گره‌های چاهک با توجه به جهات مشخص شده برای هر گروه

گروه  $top$ :

$$\begin{aligned} X_i(j) &= X_i(j) \\ Y_i(j) &= Y - Y_i(j) \\ i &\in top1 \text{ or } top2, j \in nsink_{t1} \text{ or } nsink_{t2} \end{aligned} \quad (6)$$

گروه  $under$ :

$$\begin{aligned} X_i(j) &= X - X_i(j) \\ Y_i(j) &= Y_i(j) \\ i &\in under1 \text{ or } under2, j \in nsink_{u1} \text{ or } nsink_{u2} \end{aligned} \quad (7)$$

گروه  $left$ :

$$\begin{aligned} X_i(j) &= X - X_i(j) \\ Y_i(j) &= Y_i(j) \\ i &\in left1 \text{ or } left2, j \in nsink_{l1} \text{ or } nsink_{l2} \end{aligned} \quad (8)$$

گروه  $right$ :

$$\begin{aligned} X_i(j) &= X_i(j) \\ Y_i(j) &= Y - Y_i(j) \\ i &\in right1 \text{ or } right2, j \in nsink_{r1} \text{ or } nsink_{r2} \end{aligned} \quad (9)$$

### ۴.۳. تعیین برد رادیویی گره‌های چاهک

بعد از اینکه هر یک از گره‌های چاهک گروه خود را مشخص کردند و در مختصات خود اصلاحاتی انجام دادند، برای تعیین برد رادیویی گره‌ها، چهار دنباله از مقادیر آمده،  $X_{left}, X_{under}, X_{top}$  و  $X_{right}$  را بدست می‌آوریم، به طوری که  $X_{top} \in \{X_{top1}, X_{top2}\}$ ،  $X_{right} \in \{X_{right1}, X_{right2}\}$ ،  $X_{under} \in \{X_{under1}, X_{under2}\}$  و  $X_{left} \in \{X_{left1}, X_{left2}\}$  می‌باشد، این چهار مجموعه شامل مختصات جغرافیایی محور  $X$  هر یک از گره‌های چاهک در چهار گروه موجود است. گره چاهک با کمترین مقدار  $X$  در هر یک از مجموعه‌ها، از مقایسه برد رادیویی قبلی خود ( $R$ ) و مسافت بین راس محیط عملیاتی مربوط به گروه خود و خودش، در تعیین برد رادیویی جدید خود استفاده می‌کند. با فرض اینکه گره  $Q$  کمترین مقدار  $X_Q$  را در گروه خود دارد (شکل ۵)، برد رادیویی خود را از رابطه (۱۰) محاسبه می‌کند:

$$R_{Q,i}^- = \sqrt{X_{Q,num}^2 + Y_{Q,num}^2} \quad (10)$$

$Q \in M, num \in nsink_t, nsink_u, nsink_l, nsink_r$

که در رابطه بالا،  $X_{Q,num}$  و  $Y_{Q,num}$  مختصات جغرافیایی گره  $Q$  بعد از اصلاح و  $R_{Q,i}^-$  برد رادیویی گره  $Q$  در گروه مشخصه است.

گره چاهک با مقایسه برد رادیویی قبلی خود (R) و برد رادیویی که محاسبه کرده است ( $R_{Z,num}^-$ )، برد فعالیت خود را از رابطه (۱۱) به دست می‌آورد.

### ۵.۳. روش تحویل داده مبتنی بر کپی

بعد از تعیین برد رادیویی گره‌های چاهک، از روش مبتنی بر کپی برای تحویل پیغام داده به گره‌های چاهک استفاده می‌شود. در این روش، تعداد کپی‌های پیغام، برحسب مسافت بین گره حسگر تولیدکننده پیغام و گره چاهک و همچنین، انرژی گره حسگر تولیدکننده پیغام به دست می‌آید.

در سرآیند هر پیغام یک فیلد از نوع عدد صحیح وجود دارد که تعداد کپی خود را نگه می‌دارد. برای مثال وقتی که گره حسگری مانند  $n_i$  یک پیغام جدید M ایجاد می‌کند تعداد کپی‌های پیغام داده M را براساس رابطه (۱۶) محاسبه می‌کند [۳۸].

$$d_{s_1} = \sqrt{(x_{s_1} - x_i)^2 + (y_{s_1} - y_i)^2}$$

$$d_{s_2} = \sqrt{(x_{s_2} - x_i)^2 + (y_{s_2} - y_i)^2}$$

⋮

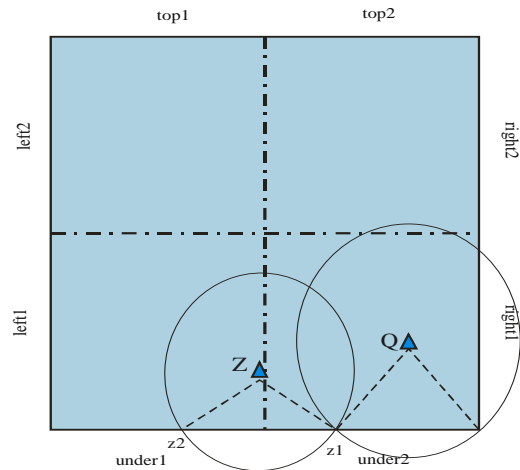
$$d_{s_n} = \sqrt{(x_{s_n} - x_i)^2 + (y_{s_n} - y_i)^2}$$

$$d_i = \min\{d_1, d_2, \dots, d_n\} \quad (14)$$

$$replica_M = \left\lceil k * T_{max} * \sqrt{\frac{d_i}{D_{max}}} \right\rceil \quad (15)$$

$$ticket_M = \left\lceil \alpha * replica_M + (1 - \alpha) * \frac{EN_i}{EN_{max}} \right\rceil \quad (16)$$

با توجه به روابط بالا K یک ضریب ثابت بین ۰ و ۱ است؛ تعداد گره‌های چاهک در شبکه است،  $d_{s_1}$  تا  $d_{s_n}$  مسافت بین گره  $n_i$  تا گره‌های چاهک موجود در شبکه است.  $d_i$  فاصله بین گره  $n_i$  و نزدیک‌ترین گره چاهک به گره  $n_i$  است؛  $D_{max}$  فاصله دورترین گره حسگر و یکی از گره‌های چاهک که به عنوان مدیر انتخاب شده است.  $T_{max}$  حداکثر مقدار کپی‌های یک پیغام داده می‌باشد، که برای هر پیغام تعداد کپی‌های آن می‌تواند یک عدد صحیح بین ۱ و  $T_{max}$  باشد،  $EN_i$  مقدار انرژی باقیمانده گره  $n_i$  است؛  $EN_{max}$  انرژی گره‌های حسگر در زمان شروع شبکه



شکل ۵: تعیین برد رادیویی گره‌های Q و Z

سپس برد رادیویی محاسبه شده در رابطه (۱۰) را با برد رادیویی R قبلی خود مقایسه می‌کند، از بین آنها کمترین مقدار را انتخاب می‌کند که از رابطه (۱۱) به دست می‌آید:

$$R_{Q,num}^- = \min\{R_{Q,num}^-, R\} \quad (11)$$

$$Q \in M, num \in nsink_t, nsink_u, nsink_l, nsink_r$$

در واقع از گره Q، برای تعیین برد رادیویی سایر گره‌های موجود در آن گروه استفاده می‌کنیم به طوری که برد رادیویی گره‌های دیگر براساس آن گره بدست می‌آید. بعد از تعیین برد رادیویی اولین گره در هر گروه، گره‌های دیگر در همان گروه از رابطه (۱۲) برای تعیین برد رادیویی خود استفاده می‌کنند:

$$R_{Z,num} = \sqrt{(X_{num} - 2\sqrt{R_{l,num-1}^-})^2 + (Y_{num})^2} \quad (12)$$

$$l, Z \in M, num \in n \sin k_t \text{ or } n \sin k_u$$

$$R_{Z,num} = \sqrt{(Y_{num} - 2\sqrt{R_{l,num-1}^-})^2 + (X_{num})^2}$$

$$l, Z \in M, num \in n \sin k_l \text{ or } n \sin k_r$$

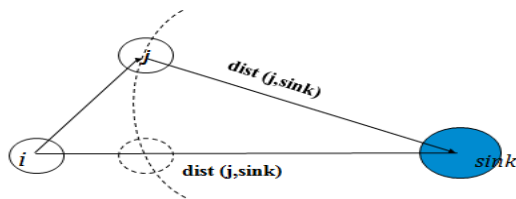
همان‌طور که پیشتر اشاره کردیم، هر گره مانند Z عضو دو گروه است، پس برد رادیویی خود را در هر دو گروه حساب می‌کند. جهت بهبود پوشش شبکه بزرگترین مقدار را به عنوان برد رادیویی خود ( $R_Z^-$ ) در نظر می‌گیرد. بنابراین، از رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود:

$$R_{Z,num}^- = \max\{R_{Z,num}\} \quad (13)$$

$$Z \in M, num \in n \sin k_t, n \sin k_u, n \sin k_l, n \sin k_r$$

در احتمال تحویل پیغام داده موثر است. به این صورت که طبق شکل ۶ هر گره‌ای که در جهت گره چاهک مورد نظر حرکت کند احتمال تحویل بالاتری خواهد داشت. مقدار  $D_i$  طبق رابطه (۱۹) محاسبه می‌شود که در این رابطه  $dist_{i,sink}$  فاصله بین گره  $i$  و چاهک مدیر و  $dist_{j,sink}$  فاصله بین گره  $j$  و چاهک مدیر را نشان می‌دهد [۲۸].

$$D_i = \frac{dist_{i,sink} - dist_{j,sink}}{dist_{i,sink}} \quad (19)$$



شکل ۶: موقعیت مکانی گره‌ها نسبت به چاهک [۲۸]

هر گره‌ای که در جهت گره چاهک مدیر حرکت کند و تعداد پیغام‌های بیشتری تحویل گرفته باشد، بعنوان گام بعدی انتخاب می‌شود. بنابراین، احتمال تحویل داده برای گره از رابطه (۲۰) محاسبه می‌شود:

$$P_i = \lambda * D_i + \gamma * freq_i + \varepsilon * P_i(Old) \quad (20)$$

که در رابطه (۲۰)  $\lambda$ ،  $\gamma$  و  $\varepsilon$  پارامترهایی بین صفر و یک هستند که مجموع آن‌ها برابر یک هست؛  $P_i$  احتمال تحویل داده گره  $i$ ام،  $D_i$  جهت حرکت گره،  $freq_i$  فرکانس ملاقات و  $P_i(Old)$  احتمال تحویل داده قدیمی گره  $i$  می‌باشد.

#### ۴. ارزیابی الگوریتم پیشنهادی

همان‌طور که پیشتر گفته شد، توسعه گره‌های چاهک براساس تغییر برد رادیویی‌شان در مساحت‌های بزرگتر در شبکه‌های DTMSN، برای اولین بار در این مقاله ارائه گردیده است. بنابراین روشی با توسعه چندین گره چاهک در این شبکه‌ها، برای مقایسه موجود نیست. به همین دلیل در این بخش کارایی الگوریتم پیشنهادی خود را نسبت به الگوریتم مسیریابی DRADG، مورد ارزیابی قرار می‌دهیم. نرخ تولید داده در هر گره از تابع پواسون پیروی می‌کند، که دارای میانگین نرخ ورود از ۱۰ تا ۱۰۰ ثانیه می‌باشد. سایر پارامترهای شبیه‌سازی و مقادیر پیش‌فرض آن‌ها در جدول (۱) آمده است.

می‌باشد که مقدارش برای همه گره‌ها یکسان است؛  $ticket_M$ ، تعداد کپی‌هایی که از پیغام داده  $M$  ایجاد می‌شود را نشان می‌دهد.

#### ۶.۲. محاسبه احتمال تحویل گره

هر گره در هر فاصله زمانی، براساس فاصله‌شان تا گره‌های چاهک، تراکم سلولی که گره‌های چاهک قرار دارد و زمان ملاقاتش با گره‌های چاهک، چاهک مدیر را برای خود انتخاب می‌کنند. به این صورت که هر گره چاهک که دارای  $S_i$  بالاتری باشد، با استفاده از رابطه (۱۷) به‌عنوان گره چاهک مدیر انتخاب می‌شود.

$$S_i = \eta * \left(\frac{1}{sdist}\right) + \beta * \left(\frac{1}{density_i}\right) + \delta * (num_{S_i}) \quad (17)$$

در رابطه (۱۷)،  $\eta$ ،  $\beta$  و  $\delta$  پارامترهای وزن بوده که عدد ثابتی بین صفر و یک هستند و  $\eta + \beta + \delta = 1$  است؛  $sdist$  فاصله یک گره سلول تا گره چاهک  $i$  می‌باشد،  $density_i$  تراکم سلولی که گره چاهک  $i$  در آن قرار دارد را نمایش می‌دهد.  $num_{S_i}$  زمان ملاقات گره با گره چاهک  $i$ ، در آخرین دوره زمانی  $\tau$  است.

سپس، هر گره احتمال تحویل داده‌اش را با توجه به فرکانسش در ملاقات با گره چاهک مدیر، محاسبه می‌کند و پیغام داده‌اش را به گره‌ای با احتمال تحویل بالا ارسال می‌کند.  $P_i$  احتمال تحویل گره  $n_i$  است که امکان تحویل پیغام داده به طور مستقیم به گره چاهک مدیر را نمایش می‌دهد. با توجه به سیار بودن گره‌ها، احتمال تحویل پیام متغیر است، بنابراین هر گره به صورت دوره‌ای احتمال تحویل را به چاهک مدیر، بدست می‌آورد و مقدار آن را از طریق پیغام Hello به همسایگان خود همه پخش می‌کند.

در دنیای واقعی، معمولاً فعالیت‌های اشیاء که تحرک دارند قابل پیش‌بینی و منظم می‌باشند [۳۷]، بنابراین می‌توان احتمال ملاقات گره متحرک را در دوره‌های زمانی آینده بر اساس تاریخچه ملاقات گره پیش‌بینی کرد. هر گره بعنوان مثال، گره  $n_i$  یک تایمر را نگه می‌دارد.  $Num_{th}$  مقدار حد آستانه است. بنابراین، می‌توان  $freq_i$  را از رابطه (۱۸) محاسبه نمود.

$$freq_i = \begin{cases} \frac{Snum_i}{Num_{th}} & num_i < Num_{th} \\ 1 & num_i \geq Num_{th} \end{cases} \quad (18)$$

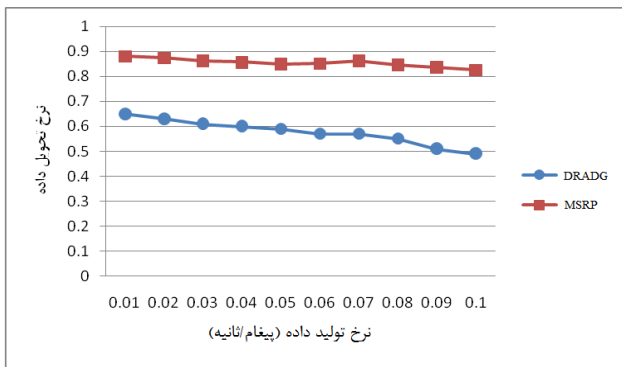
که در رابطه بالا،  $Snum_i$  زمان ملاقات گره با گره چاهک مدیر، در آخرین دوره زمانی  $\tau$  است.

همچنین جهت حرکت گره نسبت به گره چاهک مدیر نیز

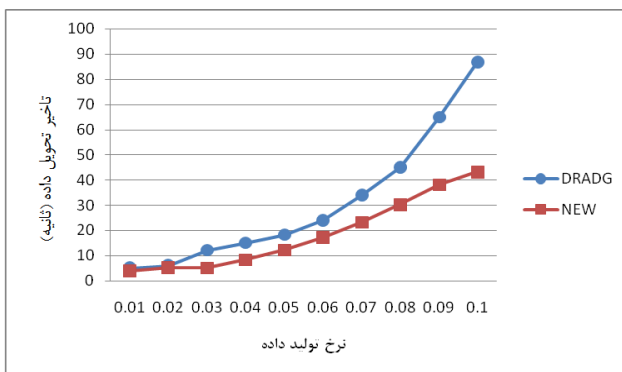
جدول (۱): پارامترهای شبیه‌سازی

مقادیر	پارامتر
پیش‌فرض	
۹۰۰×۹۰۰	اندازه شبکه (متر مربع)
۱۰۰×۱۰۰	اندازه هر سلول (متر مربع)
۵۰	تعداد گره‌های حسگر
۴	تعداد گره‌های چاهک
۹	تعداد سلول‌ها
۱۰۵	برد رادیویی گره‌ها (متر)
۲~۱۰	سرعت حرکت گره حسگر (متر/ثانیه)
۱۰۰۰	حداکثر طول میانگیر (بسته)
۱۰۰۰	طول پیغام داده (بایت)
۲۵۰	طول پیغام کنترلی (بایت)
۵۰	انرژی اولیه هر گره حسگر (ژول)
۰,۰۱	نرخ تولید داده (پیغام/ثانیه)
۱۰۰۰	حداکثر میزان تحمل‌پذیری تاخیر (ثانیه)

می‌یابد. با افزایش نرخ تولید داده، تاخیر تحویل داده هر دو الگوریتم افزایش می‌یابد اما تاخیر الگوریتم مسیریابی پیشنهادی نسبت به روش DRADG کمتر است. زیرا، با وجود چند گره چاهک در روش پیشنهادی، از ترافیک موجود در شبکه کاسته می‌شود. همچنین در ارسال بسته‌ها، گره‌هایی به‌عنوان گام بعدی انتخاب می‌شوند که علاوه بر اینکه احتمال تحویل بالاتری دارند، در جهت چاهک انتخابی نیز حرکت می‌کنند.



شکل ۷: تاثیر نرخ تولید داده بر میانگین نرخ تحویل داده



شکل ۸: تاثیر نرخ تولید داده بر میانگین تاخیر تحویل داده

#### ۲,۴ تاثیر تراکم گره‌های حسگر

در این قسمت، تعداد گره‌ها از ۲۵ گره تا ۲۰۰ گره متغیر است. شکل ۹ میزان تاثیر تعداد گره‌ها در نرخ تحویل داده را در هر دو روش پیشنهادی و DRADG نشان می‌دهد. هر چه تعداد گره‌ها در شبکه زیاد باشد، روش پیشنهادی نسبت به روش DRADG نتیجه بهتری می‌دهد. در روش DRADG با رویکرد چندین کپی با افزایش تعداد گره‌ها، تعداد پیغام‌های داده ارسالی افزایش می‌یابد و تراکم داده افزایش و میزان تصادم نیز افزایش می‌یابد ولی در روش پیشنهادی، با چندین گره چاهک میزان تصادم کمتر می‌شود.

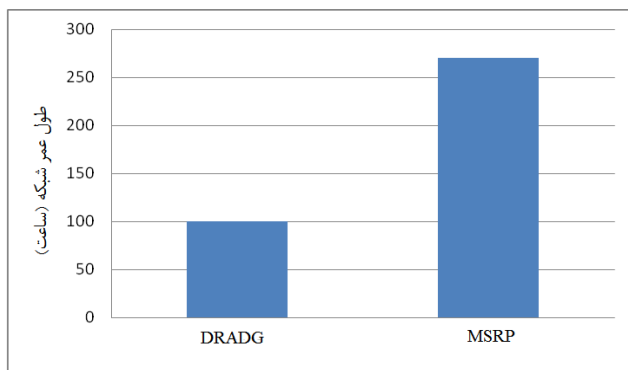
#### ۱,۴ تاثیر نرخ تولید داده

در این قسمت، برای ارزیابی کارایی پروتکل‌های مسیریابی پیشنهادی و DRADG، نرخ تولید داده از ۰,۰۱ تا ۰,۱ ثانیه/بسته تغییر داده می‌شود. شکل ۷ میزان تاثیر نرخ تولید داده را روی نرخ تحویل داده در هر دو پروتکل نشان می‌دهد که همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش نرخ تولید داده، کارایی هر دو پروتکل کاهش پیدا می‌کند. دلیل این امر می‌تواند تصادم لایه MAC و مصرف سریع منابع محدود شبکه با افزایش نرخ تولید داده باشد. روش پیشنهادی، با کاهش تعداد کپی‌های پیام از منابع کمتری استفاده کرده و سرشار انتقال کمتری خواهد داشت. همچنین، بدلیل استفاده از چندین گره چاهک در شبکه، توازن بار در بین گره‌های چاهک پخش شده و میزان ترافیک و تصادم سمت چاهک کاهش می‌یابد. در حالی که در روش DRADG بعلاوه ایجاد کپی‌های متعدد از یک پیغام میزان ترافیک و تصادم زیاد بوده، بنابراین نرخ تحویل داده کم خواهد بود.

همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، با افزایش نرخ تولید داده در هر دو پروتکل میانگین تاخیر تحویل داده نیز افزایش



کاهش می‌یابد. همچنین با توسعه گره‌های چاهک و تعیین برد رادیویی مناسب برای هر یک از آنها، از حضور یک گره در برد رادیویی چندین گره و ارسال داده به آنها جلوگیری کرده و باعث کاهش مصرف انرژی در گره‌ها می‌شود. بنابراین طول عمر شبکه در روش جدید، بیشتر از روش DRADG است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱: طول عمر شبکه

## ۵. نتیجه‌گیری

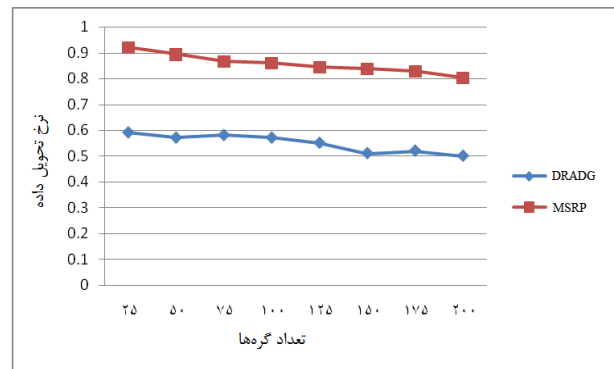
در این مقاله، جهت پوشش مساحت‌های بزرگ در شبکه‌های حسگر تحمل‌پذیر نسبت به تاخیر، با تقسیم محیط عملیاتی و گروه‌بندی گره‌های چاهک، برد رادیویی جدید برای هر یک از گره‌های چاهک محاسبه می‌شود، سپس از روش جمع‌آوری مبتنی بر کپی جهت ارسال داده‌ها به چاهک‌ها، بهره می‌بریم که هر گره حسگر گره چاهک مدیر خود را انتخاب کرده و پس از تعیین تعداد کپی‌های لازم برای ارسال بر اساس مسافت بین گره تولید کننده پیغام داده و گره چاهک انتخابی و همچنین انرژی گره حسگر، پیغام داده را با توجه به احتمال تحویل بدست آمده، ارسال می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در مجموع، روش پیشنهادی جدید نسبت به پروتکل‌های پیشین کارایی بالایی داشته و نرخ تحویل بالاتر و مصرف انرژی کم‌تری را دارد.

## ۶. کارهای آتی

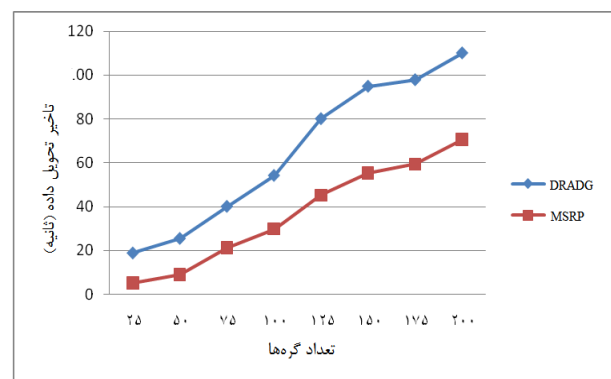
برخی از ایده‌هایی که در کارهای آتی در جهت بهبود عملکرد روش‌های مسیریابی می‌توان از آن‌ها استفاده نمود، به صورت زیر می‌باشد:

- استفاده از روش کدگذاری داده‌ای برای افزایش نرخ تحویل داده و کاهش انرژی مصرفی در روش پیشنهادی.
- استفاده از خوشه‌بندی برای بهبود روش MSPR.

در شکل ۱۰، با افزایش تعداد گره‌های حسگر شبکه به علت افزایش سربار انتقال، میانگین تاخیر تحویل داده در هر دو روش افزایش می‌یابد. در روش پیشنهادی، هر گره با انتخاب چاهک مدیر و بررسی احتمال تحویل، تاخیر تحویل داده را نسبت به روش DRADG، کاهش می‌دهد. در نتیجه، میزان تاخیر تحویل داده در روش پیشنهادی نسبت به روش DRADG کم‌تر می‌باشد.



شکل ۹: تاثیر تراکم گره‌ها بر میانگین نرخ تحویل داده



شکل ۱۰: تاثیر تراکم گره‌ها بر میانگین تاخیر تحویل داده

## ۳.۴ بررسی طول عمر شبکه

در شبکه‌های حسگر تحمل‌پذیر نسبت به تاخیر، بدلیل قطع ارتباطات مکرر و محدودیت منابع در گره‌های حسگر مانند انرژی، بافر و ... مصرف بهینه انرژی از مهمترین پارامترها در این نوع شبکه‌ها است. اکثر پروتکل‌های مسیریابی سعی در افزایش طول عمر شبکه دارند. طبق فرضیات شبیه‌سازی با از دست رفتن انرژی نصف بیش‌تر گره‌های حسگر طول عمر شبکه تمام می‌شود. بدیهی است که با کاهش میزان مصرف انرژی بین گره‌ها، طول عمر شبکه افزایش می‌یابد. در روش پیشنهادی، با تعیین تعداد کپی‌های پیغام براساس انرژی گره‌ها، مصرف انرژی

- techniques. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics; Part C*, 33(3), 297–312.
- [22] Youssef, M., et al. (2014). Routing metrics of cognitive radio networks: A survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 16(1), 92–109.
- [23] Wang, Y. (2007). Delay/Fault-Tolerant Mobile Sensor Network (DFT-MSN): A new paradigm for pervasive information gathering. Phd thesis..
- [24] Vahdat, A., & Becker, D. (2000). Epidemic Routing for Partially Connected ad hoc Networks; Technical Report CS-2000-06; Duke University: Durham, NC, USA.
- [25] Y.-C. Tseng; S.-Y. Ni; Y.-S. Chen and J.-P. Sheu. (2002) The Broadcast Storm problem in a mobile ad hoc network. *Wireless Networks*, vol. 8, no. 2/3.
- [26] J. A. Davis, A. H. Fagg, and B. N. Levine. (2001) Wearable computers as packet transport mechanisms in highly-partitioned ad-hoc networks. In *Proceedings of Int'l Symp. on Wearable Computers (ISWC'01)*, pp. 141–148
- [27] D. Marasigan and P. Rommel. (2005) MV routing and capacity building in disruption tolerant networks. In *Proceedings of IEEE INFOCOM*, vol. 1, pp. 398–408.
- [28] T. Small and Z. J. Haas. (2005) Resource and performance tradeoffs in delay-tolerant wireless networks. In *Proceedings of the ACM SIGCOMM Workshop on Delay-Tolerant Networking (WDTN'05)*, pp. 260–267.
- [29] K. Tan, Q. Zhang, and W. Zhu. (2003) shortest path routing in partially connected ad hoc networks. In *Proceedings of Global Telecommunications Conference (GLOBECOM)*, vol. 2, pp. 1038–1042.
- [30] J. Burgess, B. Gallagher, D. Jensen, and B. N. Levine. (2006) Maxprop: Routing for vehicle-based disruption-tolerant networking. In *Proceedings of IEEE INFOCOM*.
- [31] Yahui Wu, Su Deng, Hongbin Huang, (2014) Optimal Forwarding and Beaconing Control of Epidemic Routing in Delay Tolerant Networks, *Ad Hoc & Sensor Wireless Networks (AHSWN)* ,20(12), pp.71-93.
- [32] Wang, Y., & Wu, H. (2006). Replication-Based Efficient Data Delivery Scheme (RED) for Delay/Fault-Tolerant Mobile Sensor Network (DFT-MSN). In *Proceedings of Fourth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*. Pisa, Italy.
- [33] Wang, Wang, Y.; Wu, H.Y.(2006) DFT-MSN: The Delay/Fault-Tolerant Mobile Sensor Network for Pervasive Information Gathering. In *Proceedings of IEEE INFOCOM*, Barcelona, Catalunya, Spain, 23–29.
- [34] Feng, Y.; Gong, H.; Fan, M.; Liu, M.; Wang, X. (2011) A Distance-Aware Replica Adaptive Data Gathering Protocol for Delay Tolerant Mobile Sensor Networks. *Sensors*, 11, 4104-4117.
- [35] Camp, T., Boleng, J., & Davies, V. (2002). A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 483-502.
- [36] M Shahzamal, M F Pervez, M A U Zaman and M D Hossain, (2014) MOBILITY MODELS FOR DELAY TOLERANT NETWORK: A SURVEY, *International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)* Vol. 6, No. 4.
- [37] Chen, X., Thaler, A., Xue, G., & Chen, D. (2004). TPS: a time-based positioning scheme for outdoor wireless sensor networks. In *Proceedings of IEEE INFOCOM*. Hong Kong, China.
- [38] Ruml, W.; Shang, Y.; Zhang, Y. (2003) Location from Mere Connectivity. In *Proceedings of ACM MobiHoc*, Annapolis, MD, USA, 1–3.
- [۳۹] سمیه دباغی پور، زینب متقی‌نیا و علی غفاری " ارائه پروتکل جمع‌آوری داده مبتنی بر تکرار با چندین چاهک در شبکه‌های حسگر متحرک تحمل‌پذیر نسبت به تاخیر " کنفرانس مهندسی برق و الکترونیک، شهریور ۱۳۹۱.
- [1] I. Akyildiz, W. Su, and Y. Sankarasubramaniam, (2002) A Survey on Sensor Networks, *IEEE Comm. Magazine*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114.
- [2] .Mukund Kumar, D. Udaya, (2014) A SURVEY ON SENSOR NETWORKS, *International Journal of Embedded and Software Computing IJESC*, DOI 10.4010/2014.125.
- [3] P. Juang, H. Oki, and Y. Wang, (2002) Efficient Computing for Wildlife Tracking: Design Tradeoffs and Early Experiences with ZebraNET, In *Proceedings of the 10th annual conference on Architectural Support for Programming Languages and Operation Systems*.
- [4] Liu, N.B.; Liu, M.; Zhu, J.Q.; Gong, H.G. (2009) A community-based event delivery protocol in publish/subscribe systems for delay tolerant sensor networks. *Sensors*, 9, 7580-7594.
- [5] Song, G.M; Zhou, Y.X; Ding, F.; Song, A.G. (2008) A mobile sensor network system for monitoring of unfriendly environments. *Sensors*, 8, 72597274.
- [6] Wang, Y.; Lin, F.; Wu, H. (2005) efficient data transmission in delay fault tolerant mobile sensor networks (DFT-MSN). In *Proceedings of IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP'05)*, Boston, MA, USA.
- [7] McDonald, P.; Geraghty, D.; Humphreys, I.; Farrell, S.; Cahill, V.; (2007) Sensor Network with Delay Tolerance (SeNDT). In *Proceedings of 16th International Conference on 2006 Computer Communications and Networks, ICCCN 2007*, Dublin, Ireland.
- [8] Mainwaring, A.; Polastre, J.; Szewczyk, R.; Culler, D.; Anderson, J. (2002) Wireless sensor networks for habitat monitoring. In *Proceedings of ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA)*. Atlanta, GA, USA.
- [9] Fall, K. (2003) A delay-tolerant network architecture for challenged internets. In *Proceedings of ACM SIGCOMM 2003 Conference on Computer Communications*, Karlsruhe, Germany.
- [10] Burleigh, S.; Hooke, A.; Torgerson, L.; Fall, K. Cerf, V.; Durst, B.; Scott, K.; Weiss, H. (2003) DelayTolerant Networking—An Approach to interplanetary internet *IEEE Commun.Mag.*, 41, 128-136.
- [11] Leguay, J.; Friedman, T.; Conan, V. (2005) DTN Routing in a Mobility Pattern Space. In *Proceedings of ACM SIGCOMM'05 Workshop on Delay Tolerant Networking and Related Topics*. Philadelphia, PA, USA.
- [12] Camp, T.; Boleng, J.; Davies, V. (2003) A survey of mobility models for ad hoc network research. *Wire. Commun. Mob. Comp.* 2002, 2, 483-502.
- [13] Warthman, F. Delay-Tolerant Networks (DTNs); DTN Research Group: Available online: [http://www.ipnsig.org/reports/DTN\\_Tutorial11.pdf/](http://www.ipnsig.org/reports/DTN_Tutorial11.pdf/) (accessed on 25 July 2010).
- [14] Neely, M.J.; Modiano, E. (2005) Capacity and delay tradeoffs for ad-hoc mobile networks. *IEEE Trans. Infor. Theory*, 51, 1917-1937.
- [15] Partan, J.; Kurose, J.; Levine, B. (2006) A survey of practical issues in underwater networks. In *Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Underwater Networks*, Los Angeles, CA, USA; pp. 17-24.
- [16] Luo, D., Zhu, D., Yang, X. (2008). An Optimal Sink Selection Scheme for Multi-sink Wireless Sensor Networks. *IEEE International Conference*.
- [17] Johnson, D. B., & Maltz, D. A. (1996). Dynamic source routing in ad hoc wireless networks. *Mobile Computing*, 353, 153–181.
- [18] Perkins, C. E., & Bhagwat, P. (1994) highly dynamic destination sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers. In *SIGCOMM'94: Proceedings of the ACM conference on computer communications*, pp. 234–244.
- [19]
- [20] Perkins, C. E., & Royer, E. M. (1999). Ad hoc on-demand distance vector routing. In *WMCSA'99: Proceedings of the 10<sup>th</sup> IEEE workshop on mobile computing systems and applications*, pp. 90–100.
- [21] Vasilakos, A. V., et al. (2003). Optimizing QoS routing in hierarchical ATM networks using computational intelligence