

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۹/۰۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۰/۲۳

ارائه یک مسیر حرکت مناسب برای چاهک‌های متحرک در جهت کاهش مصرف انرژی

سیده مولود امینی*

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر، گرایش نرم‌افزار
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی کامپیوتر، تهران، ایران
پست الکترونیکی: sara.amini.tf@gmail.com

سام جبه داری

دانشیار مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، دانشکده فنی و مهندسی، تهران، ایران
پست الکترونیکی: s.jabbhdari@gmail.com

چکیده

شده و پوشش بهتر هر خوشه، مدل MECA بهبود داده می‌شود و مشکل لزوم نزدیک بودن سرخوشه‌ها به مرکز خوشه که در مدل MECA وجود داشته است، برطرف می‌شود. بنابراین نتایج شبیه‌سازی‌های مدل پیشنهادی که با شبیه‌ساز NS2 انجام شده است، نشان دهنده کاهش میانگین مصرف انرژی، افزایش متوسط انرژی باقیمانده، افزایش تعداد گره‌های فعال و در نهایت بهبود در طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم نسبت به مدل MECA می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های حسگر بی‌سیم، چاهک‌های چندگانه، مصرف انرژی، حرکت قابل پیش بینی چاهک‌ها

در سال‌های اخیر شبکه‌های حسگر بی‌سیم به‌عنوان شبکه‌های هوشمند بدون زیرساخت، مورد توجه بسیاری از پژوهشگران می‌باشند. یکی از بحث‌ها و چالش‌های تحقیقاتی در این زمینه استفاده از قابلیت تحرک گره/چاهک به منظور ارائه یک مسیر حرکت مناسب برای چاهک‌ها در جهت کاهش مصرف انرژی و بهبود در طول عمر این شبکه‌ها است. در مدل پیشنهادی مطرح شده در این مقاله محیط مورد بررسی به‌صورت یک دایره کلی فرض شده است که بر اساس قطر دایره به چهار خوشه مساوی تقسیم می‌شود. این دایره متشکل از دو لوزی تودرتو است. در این مدل یک مسیر حرکت مناسب برای چاهک‌های متحرک ارائه شده است که با حرکت چاهک‌ها در راستای یک مسیر از قبل تعیین

* نویسنده مسئول

تحولات وسیعی که امروزه در حوزه ارتباطات بی‌سیم، ریزپردازنده‌ها و حسگرها ایجاد شده است، موجب کاهش مصرف انرژی و کوچک شدن اندازه تجهیزات مذکور شده است. در راستای این تحولات، شبکه‌های جدیدی به نام شبکه‌های حسگر بی‌سیم مطرح شده‌اند. یکی از مهم‌ترین بحث‌ها و چالش‌های تحقیقاتی در زمینه شبکه‌های حسگر بی‌سیم، کاهش مصرف انرژی گره‌های حسگر است تا طول عمر این شبکه‌ها بهبود یابد [۱۰-۱]. نشان داده شده است که استفاده از یک یا چند چاهک متحرک در محیط شبکه‌های حسگر منجر به متعادل شدن مصرف انرژی گره‌های حسگر در طول شبکه می‌شود [۲، ۶]. در نتیجه با افزایش تعداد گره‌های فعال، مصرف انرژی گره‌های حسگر کاهش می‌یابد که در نهایت منجر به بهبود در طول عمر این شبکه‌ها می‌شود [۹، ۱۰].

قابلیت تحرک چاهک‌ها فنی مهم در بهبود کارایی این نوع از شبکه‌ها است و طراحی الگوریتم‌های مسیریابی که با چاهک‌های متحرک سازگاری لازم را داشته باشند، در عملکرد این شبکه بسیار موثر می‌باشند [۲]. در صورت استفاده از الگوریتم‌های مسیریابی سلسله مراتبی در شبکه‌های حسگر، محیط شبکه به چندین خوشه با اندازه مساوی تقسیم می‌شود. در هر خوشه یک گره به‌عنوان سرخوشه مسئول جمع‌آوری داده‌ها می‌باشد. سایر گره‌های حسگر می‌بایست داده‌های حس شده را ابتدا به سرخوشه مربوطه ارسال نمایند. سپس سرخوشه داده‌های ترکیب شده را در یک انتقال به گره چاهک ارسال می‌نماید. بنابراین در این الگوریتم‌ها در صورت دورافتادن سرخوشه‌ها از چاهک‌ها، انرژی بیشتری برای ارسال داده‌ها مصرف می‌شود.

همچنین با توجه به این‌که در هر خوشه ممکن است سرخوشه به‌صورت تصادفی در هر موقعیتی انتخاب شود، گره‌های حسگر نیز در صورت داشتن فاصله زیاد با سرخوشه می‌بایست انرژی بیشتری مصرف نمایند که

این امر منجر به کاهش ذخیره انرژی درون خوشه‌ای و غیر فعال شدن گره‌های حسگر می‌شود. یکی از مدل‌های مفید موجود مدل MECA [۲] است. در این مدل از الگوریتم سلسله مراتبی انرژی کارآمدی استفاده شده است که برای هر گره حسگر این امکان فراهم می‌شود که در صورت نزدیک بودن به چاهک‌های متحرک، داده‌های خود را به گره چاهک ارسال نماید و لزومی به ارسال داده‌ها به سرخوشه نمی‌باشد.

بنابراین در این الگوریتم هر گره حسگر برای ارسال داده‌های حس شده ابتدا می‌بایست فاصله خود را با سرخوشه و چاهک مربوطه محاسبه نماید و در نهایت داده‌های خود را به کوتاهترین مسیر (چاهک یا سرخوشه) ارسال نماید. اما به دلیل این‌که در این مدل چاهک‌ها فقط در دورتا دور محیط مورد بررسی حرکت می‌کنند، ممکن است، بعضی مواقع سرخوشه‌ها فاصله زیادی تا چاهک‌ها داشته باشند. در نتیجه لزوم نزدیک بودن سرخوشه‌ها به مرکز خوشه‌ها در انتخاب سرخوشه‌ها موثر می‌باشد که به‌عنوان یک محدودیت مطرح می‌شود.

در جهت برطرف شدن این مشکل مدل پیشنهادی مطرح شده است که با ارائه یک مسیر حرکت قابل پیش‌بینی برای چاهک‌های متحرک و استفاده از مسیریابی سلسله مراتبی انرژی کارآمد طول عمر شبکه بهبود داده می‌شود. در این مدل با حرکت چاهک‌ها از چندین موقعیت و پوشش بهتر هر خوشه توسط چاهک‌ها، مشکل لزوم نزدیک بودن سرخوشه‌ها به مرکز خوشه‌ها در مدل MECA نیز برطرف می‌شود.

ساختار ادامه مقاله به این شرح است: بخش دوم به بررسی کارهای قبلی مرتبط با تاثیر وجود یک یا چند چاهک متحرک در کاهش مصرف انرژی و بهبود طول عمر شبکه‌های حسگر می‌پردازد. در بخش سوم اهمیت و ضرورت انجام تحقیق و تعریف مدل پیشنهادی بیان می‌شود. در بخش چهارم نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها و در بخش پنجم نتیجه‌گیری از این تحقیق ارائه خواهد شد.

۲- کارهای مرتبط

در مرجع [۱] پیشنهاد شده است که یک یا چند چاهک متحرک، از مسیری در راستای محدوده مورد نظر، بر اساس تعداد گام محاسبه شده تبعیت نمایند که مسیر می‌بایست: الف) ارتباط معتبر را میان گره‌ها و چاهک تضمین نماید. ب) توزیع پیام‌های دریافت شده و ارسال شده را در محدوده کاربردی برای دستیابی به مقصد تضمین دهد. پ) پردازش واقعی پیام‌ها را امکان پذیر سازد. همچنین در این مرجع یک مدل برای جابجایی و مسیر حرکت چاهک متحرک در جهت کاهش تعداد پیام‌های ارسال شده و دریافت شده توسط یک گره ارائه شده است که امکان استفاده مناسب از همه گره‌ها برای انتقال یک پیام یا گزارش در زمان واقعی فراهم می‌شود.

در مدل مرجع [۲] محققان چند ایستگاه اصلی متحرک را بررسی کرده‌اند. در این مرجع دو الگوریتم انرژی کارآمد مبتنی بر چند چاهک ثابت (EMCA) و چند چاهک متحرک (MECA) ارائه شده است که در کاهش مصرف انرژی گره‌های حسگر موثر می‌باشند. در مدل MECA ناحیه کاربردی به صورت یک دایره فرض شده است و چاهک‌ها در طول یک مسیر از پیش تعیین شده پیرامون دایره حرکت می‌کنند. بر اساس شعاع دایره ناحیه کاربردی به خوشه‌هایی تقسیم می‌شود. در هر خوشه گره‌ی با بیشترین انرژی باقیمانده به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. در هر دو الگوریتم ارائه شده در این مقاله هر گره حسگر می‌بایست فاصله خود را با سرخوشه مربوطه و نزدیک‌ترین چاهک از قبل محاسبه کند و در صورت نیاز می‌تواند داده‌های خود را به نزدیک‌ترین مسیر ارسال نماید. در این تحقیق اساساً تأثیر حرکت قابل پیش بینی چاهک بررسی شده است. استفاده از یک تقویت کننده متحرک برای مسیریابی در شبکه‌های حسگر، در مرجع [۳] مورد بحث قرار گرفته است. مولفان نشان دادند که استفاده از این تقویت کننده می‌تواند طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم را بهبود بخشد.

در مرجع [۴]، تک مدل چاهک محلی را محققان معرفی کردند تا هزینه کل انرژی در طول مسیریابی جغرافیایی شبکه کاهش یابد. تعیین محل مناسب چاهک به وسیله یک چاهک عمومی تشخیص داده می‌شود که به مدل چند چاهک محلی برای رسیدن به قابلیت گسترش یا مقیاس پذیری شبکه توسعه می‌یابد. در مدل [۵] محققان به این نتیجه دست یافته‌اند که استفاده از قابلیت متحرک بودن چاهک می‌تواند طول عمر شبکه را بهبود بخشد. در واقع چاهک متحرک می‌تواند بار سنگین رو به جلو را بر روی گره‌های حسگر به شکلی توزیع کند که مستقیماً با گره چاهک در ارتباط نباشند.

همچنین در [۶] محققان بررسی کرده‌اند که با داشتن چندین گره چاهک متحرک، میزان تخلیه انرژی همسایه‌های چاهک کاهش پیدا خواهد کرد. در نتیجه مسیرهای کوتاهتری از سمت گره‌های حسگر به سمت نزدیکترین گره چاهک مشخص می‌شود. گرچه تحقیقات اولیه در مورد مسئله به حداکثر رسانی طول عمر شبکه، بر روی پروتکل‌های مسیریابی متمرکز بوده‌اند. اما اخیراً مشاهده شده است که برخی محققان تأثیر متحرک بودن چاهک را برای بهبود هر چه بیشتر طول عمر شبکه بررسی کرده‌اند. آن‌ها رابطه برنامه‌ریزی خطی (LP) را برای به حداکثر رساندن طول عمر شبکه با در نظر گرفتن مسیریابی و متحرک بودن چاهک به صورت همزمان، پیشنهاد کرده‌اند [۷،۸]. محققان در مدل [۹] مسئله پیشینه سازی طول عمر شبکه را با استفاده از یک گره چاهک متحرک برای حالتی که در آن متحرک بودن چاهک بدون محدودیت است، بررسی کرده‌اند. نکته قابل توجه این است که مسئله مورد بررسی در این قسمت کاملاً متفاوت از چیزی است که آن را شبکه مقاوم در برابر تأخیر (DTN) می‌نامند.

همچنین محققان در [۱۰] حداکثر رسانی طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم را با در نظر گرفتن هر دو مورد استفاده از چاهک متحرک و مسیریابی به صورت همزمان مورد مطالعه قرار داده‌اند. در ضمن از مزیت چند گره

چاهک متحرک برای بهبود هر چه بیشتر طول عمر شبکه استفاده کرده‌اند.

۳- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق و تعریف مدل پیشنهادی

اهمیت و ضرورت تحقیق ارائه شده در این مقاله از آنجایی است که در مدل MECA چاهک‌ها پیرامون یک دایره که محیط شبکه‌های حسگر می‌باشد، بر مبنای یک مسیر از قبل تعیین شده با سرعت ثابت در حال حرکت هستند [۲]. با توجه به این که چاهک‌ها فقط در دور تا دور دایره در حال حرکت هستند و انتخاب سرخوشه به صورت تصادفی می‌باشد، در برخی موارد دور افتادن سرخوشه‌ها از ایستگاه اصلی (چاهک) وجود دارد. با این حال در این مرجع می‌بایست اولویت سرخوشه شدن در ابتدا برای گره‌های میانی هر خوشه باشد. اما به دلیل این که تمام گره‌ها در هر خوشه فقط یکبار می‌توانند برای سرخوشه شدن نامزد شوند و اگر اولویت در ابتدا با گره‌های میانی هر خوشه باشد، بعد از مدتی که تمام گره‌های میانی انتخاب شوند، دیگر ملاک نزدیک بودن به مرکز خوشه در انتخاب سرخوشه موثر نمی‌باشد.

در نتیجه این راه حل برای حل این مشکل موثر نمی‌باشد. برای حل این مشکل یک راه حل این است که با حرکت چاهک‌ها از وسط هر خوشه و پوشش مناسب هر خوشه توسط چاهک‌ها، این امکان برای چاهک‌ها فراهم می‌شود تا از فضای داخلی خوشه‌ها به خوبی بازدید نمایند و به گره‌های بیشتری نزدیک شوند. بدین ترتیب تعداد گره‌های نامزد برای سرخوشه شدن افزایش می‌یابد و مشکل برطرف می‌شود.

در مدل پیشنهادی ارائه شده فرضیه‌های زیر در مورد مدل شبکه در نظر گرفته شده است:

- شبکه تشکیل شده است از N گره ثابت که به صورت همگن می‌باشند.

- توزیع گره‌های حسگر به طور یکنواخت و تصادفی می‌باشد.

- گره‌ها می‌توانند توان ارسالی خود را با توجه به فاصله‌ای که تا گیرنده دارند تنظیم کنند.

- پیوندها به صورت دو طرفه و متقارن در نظر گرفته شده است.

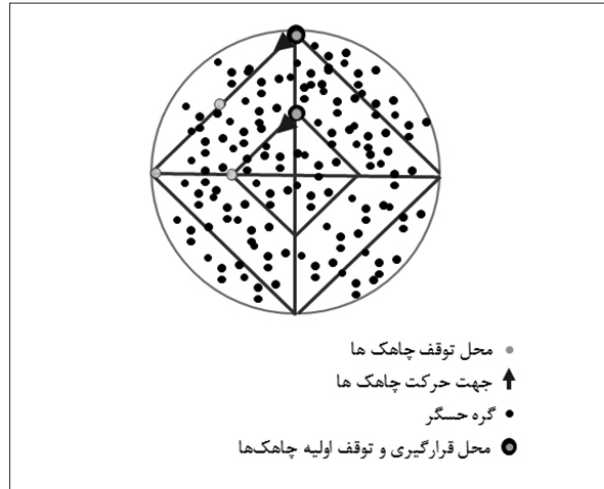
- هر پیوند دارای ظرفیت مناسب برای انتقال داده‌ها می‌باشد.

- چاهک‌ها متحرک می‌باشند و در هر دور تمام چاهک همزمان با هم شروع به حرکت می‌کنند.

۳-۱ تعریف مدل پیشنهادی

با توجه به این که طرح پیشنهادی در این مقاله بهبود مدل MECA می‌باشد، به دلیل مقایسه و ارزیابی بهتر، هر دو مدل تحت شرایط یکسان پیاده‌سازی و مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بنابراین محیط کاربردی در مدل پیشنهادی نیز مطابق با مدل MECA به صورت یک دایره کلی در نظر گرفته شده است که متشکل از دو لوزی تودرتو می‌باشد. این مدل بر اساس قطر دایره به چهار خوشه با اندازه مساوی تقسیم شده است. برای هر خوشه توسط سایر گره‌های حسگر، یک سرخوشه جهت جمع‌آوری داده‌ها بر اساس بیشترین انرژی باقیمانده تعیین می‌شود. در هر خوشه چاهک‌ها در راستای اضلاع لوزی‌ها در دو جهت مخالف به صورت چرخشی در حال حرکت هستند. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است. با این حرکت هر خوشه از وسط به خوبی توسط چاهک‌ها پوشش داده می‌شود و این پوشش چاهک‌ها، منجر به دسترسی بهتر سایر گره‌های حسگر به گره‌های چاهک متحرک می‌شود.

همچنین در این مدل از الگوریتم خوشه بندی انرژی کارآمد استفاده شده است که منجر به توزیع بهتر سرخوشه‌ها در هر خوشه می‌شود. در شروع اجرای این الگوریتم در مرحله قرارگیری اولیه چاهک‌ها، در گوشه‌های لوزی‌های تودرتو چاهک‌های متحرک قرار می‌گیرند که در شکل ۱ نشان داده شده است. در این مدل چاهک‌ها به صورت همزمان با یک سرعت ثابت که از قبل پارامتر



شکل ۱: تغییر موقعیت چاهک‌ها در مدل پیشنهادی (IMP-MECA)

مشخص شده است، بر مبنای یک مسیر از پیش تعیین شده در امتداد لوزی‌ها در حال حرکت هستند تا به نقطه توقف بعدی برسند. در اینجا فرض اولیه این است که تمام چاهک‌ها در شروع اجرای الگوریتم، فقط یک بار جهت اعلام محل فعلی خود به سایر گره‌های حسگر، یک پخش همگانی در میان شبکه انجام می‌دهند. بعدها گره‌های حسگر یک سابقه از محل اصلی چاهک را در خود حفظ می‌کنند.

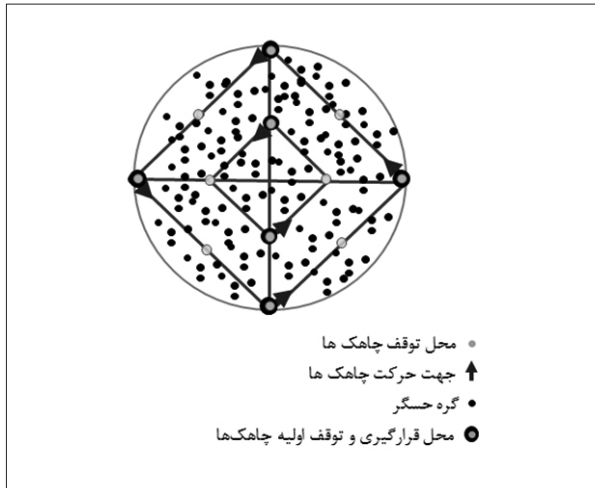
پس از اتمام پخش همگانی، چاهک‌های متحرک آماده هستند تا داده‌ها را جمع‌آوری کنند. جمع‌آوری داده‌ها توسط چاهک‌ها به این صورت است که هر گره چاهک چندین موقعیت برای توقف دارد. در اینجا فرض شده چاهک‌ها بر اساس یک دوره زمانی که به عنوان زمان توقف مشخص شده است، در یک موقعیت متوقف می‌شوند، تا جمع‌آوری یک دور از داده‌ها تکمیل شود. سپس به موقعیت توقف بعدی تغییر مکان خواهند داد.

همچنین بعد از تشکیل خوشه‌ها در مدل پیشنهادی که در شکل ۲ نشان داده شده است، مرحله دوم الگوریتم که مربوط به انتخاب سرخوشه است، اجرا می‌شود. در این حالت برای هر خوشه می‌بایست یک سرخوشه انتخاب شود. هر گره حسگر دارای یک شناسه و مقدار انرژی اولیه است. بنابراین در ابتدای مرحله انتخاب سرخوشه، گرهی با کوچکترین شناسه در هر خوشه نامزد اولیه

برای سرخوشه شدن می‌شود. سپس این گره یک پیغام شامل شناسه و انرژی باقیمانده خود را، در یک محل از شعاع r پخش می‌نماید. این پیغام با هدف ایجاد انگیزه برای سایرگره‌ها به منظور رقابت برای سرخوشه شدن می‌باشد. لازم به ذکر است که فقط گره‌های در محدوده انتقال می‌توانند این پیام را دریافت کنند و سایر گره‌های خارج از محدوده غیرفعال باقی می‌مانند. اگر گره دیگری مثل S_j وجود داشته باشد که انرژی باقیمانده این گره از S_i بیشتر باشد، این گره نامزد جدید برای سرخوشه شدن می‌شود و پیامی حاوی اطلاعات مربوط به خودش را برای سایر گره‌ها ارسال می‌نماید و گره S_i غیرفعال می‌شود. اما اگر انرژی S_j با S_i برابر باشد، گرهی که دارای شناسه کوچکتری باشد، سرخوشه می‌شود. با این حال اگر S_j انرژی کمتری نسبت به گره S_i داشته باشد، ابتدا گره S_j غیرفعال می‌شود و سپس پیام از طرف گره S_i دوباره پخش می‌شود.

در نهایت مرحله انتخاب سرخوشه تا زمانی ادامه می‌یابد که گرهی با کوچکترین شناسه و بیشترین انرژی باقیمانده به عنوان سرخوشه انتخاب شود. در این الگوریتم برای آن که سرخوشه‌ها به خوبی توزیع شوند، یک معیار مشخص برای انرژی گره‌ها لحاظ شده است. در این حالت در صورتی که انرژی سرخوشه‌ها از یک مقدار مشخص کمتر شود، می‌بایست مرحله انتخاب سرخوشه تکرار شود تا سرخوشه جدید بر مبنای بیشترین انرژی باقیمانده مشخص شود.

در این الگوریتم بعد از تشکیل خوشه‌ها و انتخاب سرخوشه‌ها در صورت تمایل یک گره برای ارسال داده، باید مرحله مسیریابی سلسله‌مراتبی در هر خوشه انجام شود. در حالت کلی شبکه به صورت یک گراف $G(N,E)$ در نظر گرفته شده است. N مجموعه‌ای از گره‌های حسگر می‌باشد که به صورت تصادفی پخش شده‌اند و E مجموعه‌ای از پیوندها می‌باشد. l طول بسته و d فاصله گره حسگر تا مقصد (سرخوشه/چاهک) و E_{elec} انرژی



شکل ۲: تشکیل خوشه‌ها در مدل پیشنهادی (IMP-MECA)

گره حسگر زمانی که تصمیم به ارسال داده‌های حس شده خود را دارد، ابتدا هزینه ارسال داده به (چاهک / سرخوشه) را محاسبه کند. سپس انتقال از طریق کوتاهترین مسیر بر اساس رابطه ۵ صورت گیرد.

$$\text{Min}(E(S_i, CH_{S_i}), E(S_i, BS)) \quad (5)$$

۳-۲ نوآوری‌های مدل پیشنهادی

- محیط شبکه‌های حسگر به صورت یک دایره کلی که متشکل از دو لوزی تو در تو می‌باشد، در نظر گرفته شده است.

- در این مدل بر اساس قطر دایره چهار خوشه با اندازه مساوی تشکیل شده است، که در شکل ۲ نشان داده شده است.

- در این مدل از یک الگوریتم خوشه بندی انرژی کارآمد مبتنی بر چند چاهک متحرک استفاده شده است.

- چاهک‌های متحرک در راستای یک مسیر از پیش تعیین شده بر روی اضلاع دو لوزی تودرتو در دو جهت مخالف به صورت چرخشی در حال حرکت هستند.

- حرکت تمام چاهک‌ها به صورت همزمان و متصل می‌باشد.

- برای چاهک‌ها چندین موقعیت جهت توقف در نظر گرفته شده است و چاهک‌ها برای یک دوره طولانی و

هدر رفته در مدار می‌باشد. همچنین دو مدل رادیویی فضای باز (Free space) و مدل رادیویی چند مسیره (Multi-path fading) به عنوان مدل انرژی بر اساس فاصله بین فرستنده و گیرنده لحاظ شده است [۲]. پارامترهای کانال فضای باز با ϵ_{fs} و پارامترهای کانال چند مسیره با ϵ_{ms} نشان داده شده است.

به طور مثال برای گره S_i هزینه انرژی که برای ارسال داده به سرخوشه به صورت مستقیم مصرف می‌شود، بر اساس رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$E_1(S_i, CH_{S_i}) = \begin{cases} |E_{elec} + l\epsilon_{fs}d(S_i, CH_{S_i})|^2, & d < d_0 \\ |E_{elec} + l\epsilon_{fs}d(S_i, CH_{S_i})|^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (1)$$

در این حالت گره S_i به این امید که برای ارسال داده به سرخوشه از طریق یک گره میانی انرژی کمتری نسبت به حالت قبل مصرف می‌نماید، از طریق مسیریابی چندگامی، گره S_j ای را به عنوان گره رله برای ارتباط با سرخوشه انتخاب می‌کند. انرژی مصرفی گره S_i برای تحویل یک بسته به طول l به سرخوشه از طریق مسیریابی چندگامی بر اساس رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$E_2(S_i, S_j, CH_{S_i}) = E_{Tx}(l, d(S_i, S_j)) + E_{Rx}(l) + E_{Tx}(l, d(S_j, CH_{S_i})) \quad (2)$$

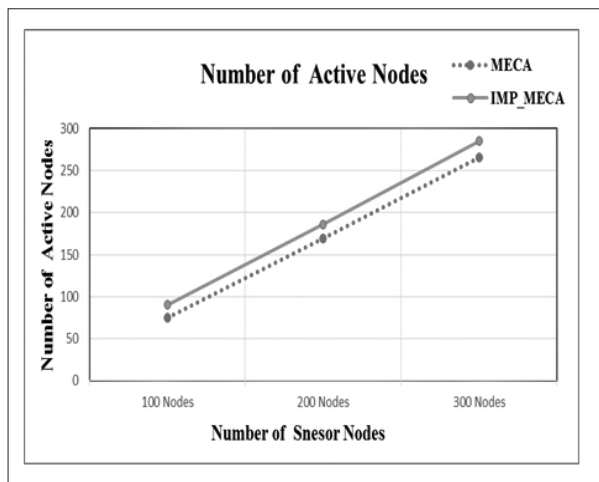
بنابراین هر گره S_i گره S_j ای را انتخاب می‌کند که کمترین مقدار مربوط به رابطه ۲ را داشته باشد، چرا که برای انتخاب گره رله داده این نکته ضروری می‌باشد که در ابتدا رابطه (۳) برقرار باشد.

$$E_2(S_i, CH_{S_i}) = \text{Min}(E_2(S_i, S_j, CH_{S_i})) \quad (3)$$

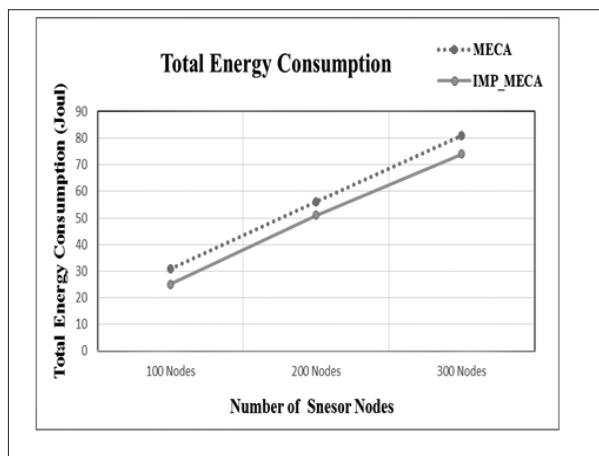
سپس رابطه‌های (۱) و (۳) بررسی می‌شوند و در نهایت کمترین مقدار بر اساس رابطه ۴ انتخاب می‌شود.

$$E(S_i, CH_{S_i}) = \text{Min}(E_1(S_i, CH_{S_i}), E_2(S_i, CH_{S_i})) \quad (4)$$

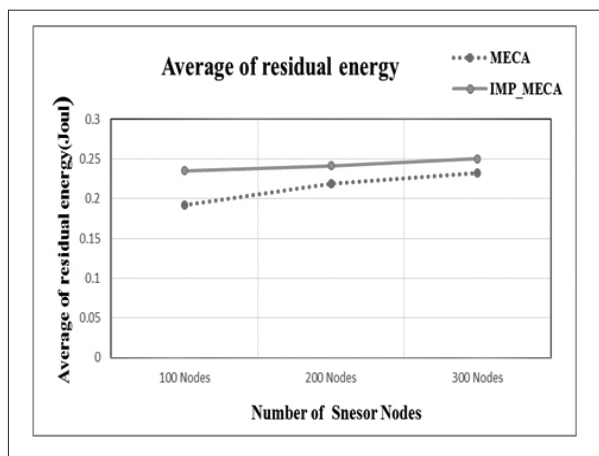
در مدل پیشنهادی با توجه به تغییر موقعیت گره‌های چاهک به دلیل متحرک بودن چاهک‌ها، ممکن است برخی از گره‌ها نسبت به سرخوشه فاصله کمتری تا چاهک‌ها داشته باشند. در نتیجه در این الگوریتم الزامی است که هر



شکل ۴: تاثیر افزایش چگالی شبکه در تعداد گره‌های فعال



شکل ۵: تاثیر افزایش چگالی شبکه در مصرف انرژی کل



شکل ۶: تاثیر افزایش چگالی شبکه در متوسط انرژی باقیمانده

MECA و برخی دیگر براساس سایر پارامترها مقداردهی شده است [۲]. از جمله معیارهای ارزیابی کارایی که در هر دو بررسی شده است، عبارتند از: تعداد گره‌های فعال،

جدول ۱: پارامترهای مدل شبکه

نماد	پارامترها	مقدار
R_h	شعاع دایره (محیط شبکه‌های حسگر)	۲۳m (متر)
N	تعداد گره‌های حسگر	۱۰۰
l	طول بسته	۶۴ bits (بیت)
M	تعداد گره‌های چاهک	۶
r	محدوده انتقال هر گره حسگر	۱/۵ m (متر)
R	محدوده انتقال هر گره چاهک	۲۰ m (متر)
v	سرعت حرکت چاهک ها	۲۰ m/s (متر بر ثانیه)
E_0	انرژی اولیه	۰/۵ Joul (ژول)
E_{elec}	انرژی مصرفی در مدار	۰,۰۰۰۰۵ nJ/bit
ϵ_{fs}	پارامتر کانال فضای باز	۰,۰۰۰۰۰۱۵ pJ/bit/m ²
ϵ_{ms}	پارامتر کانال چند مسیره	۰,۰۰۰۰۰۱۳ pJ/bit/m ⁴

کافی در هر موقعیت متوقف می‌شوند تا داده‌ها را از سایر گره‌های حسگر جمع‌آوری نمایند.

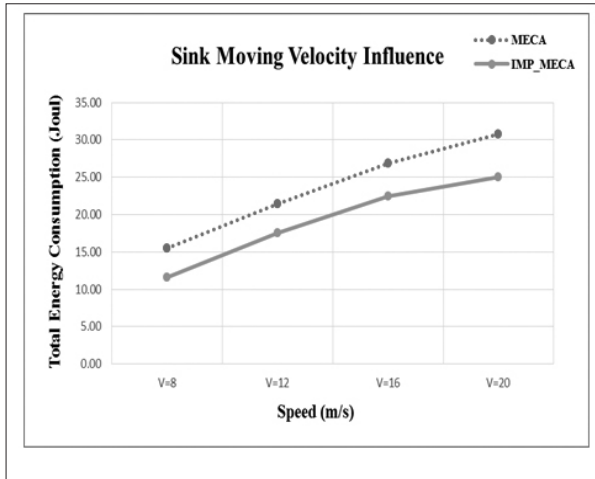
- در این مدل به دلیل این‌که چاهک‌ها در راستای اضلاع لوزی‌ها حرکت می‌کنند و قسمت بالا، پایین و مرکز هر خوشه توسط چاهک‌های متحرک به خوبی پوشش داده می‌شود، گره‌های بیشتری برای سرخوشه شدن نامزد خواهند شد. همچنین دسترسی سایر گره‌های حسگر به گره‌های چاهک با سرعت بیشتری امکان پذیر است.

- در مدل پیشنهادی به دلیل دسترسی مناسب سایر گره‌های حسگر به گره‌های چاهک و حرکت چاهک‌ها از مرکز هر خوشه مشکل لزوم نزدیک بودن سرخوشه‌ها به مرکز خوشه‌ها که در مدل MECA مشاهده می‌شود، برطرف شده است.

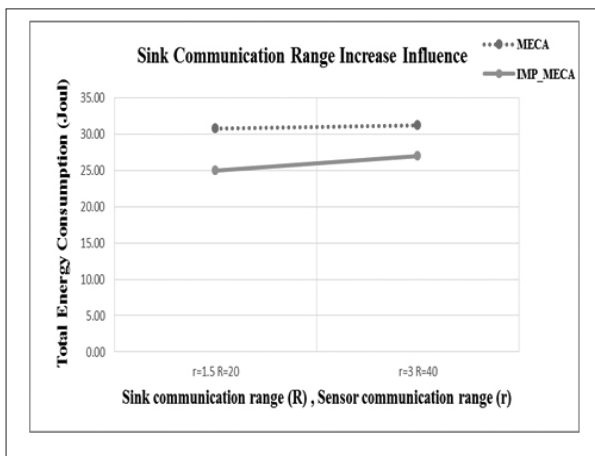
۳-۲- شبیه‌سازی مدل پیشنهادی

مدل پیشنهادی در این مقاله که تحت عنوان IMP-MECA مشخص شده است، با مدل MECA مقایسه و ارزیابی شده است. هر دو مدل پیشنهادی و مدل MECA بر اساس پارامترهای شبیه‌سازی که در جدول ۱ مطرح شده است، با استفاده از شبیه‌ساز NS2 پیاده‌سازی شده‌اند. بعضی از مقادیر این پارامترها متناسب با مقادیر پارامترهای مدل

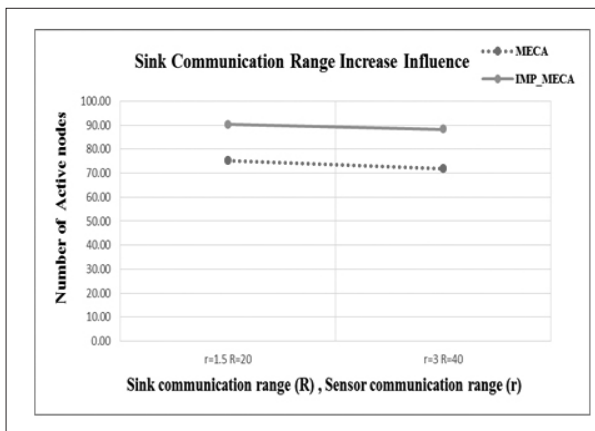
انرژی مصرفی کل و متوسط انرژی باقیمانده در میان گره‌های حسگر.



شکل ۷: تاثیر سرعت حرکت چاهک‌ها در مصرف انرژی کل



شکل ۸: تاثیر افزایش شعاع انتقال گره‌ها و چاهک‌ها در مصرف انرژی



شکل ۹: تاثیر افزایش شعاع انتقال گره‌ها و چاهک‌ها در تعداد گره‌های فعال

پوشش مناسب هر خوشه توسط چاهک‌ها مشکل لزوم نزدیک بودن سرخوشه‌ها به مرکز خوشه‌ها که در مدل MECA مشاهده می‌شود، برطرف شده است. چرا که در

LP: Line programming

MECA: Mobile-sink based Energy-efficient Clustering Algorithm

EMCA: Energy-efficient Multi-sink Clustering Algorithm

IMP-MECA: Improved-Mobile-sink based Energy-efficient Clustering Algorithm

DTN: Delay-tolerant networking

برای هر دو مدل پیشنهادی و مدل MECA در حالت

پیش فرض ۱۰۰ گره حسگر در نظر گرفته شده است و

بر اساس متوسط اختلاف نقطه به نقطه در هر نمودار

میزان درصد‌های زیر مشخص شده است. با توجه به نتایج

شبه‌سازی‌ها و نمودارهای شکل ۴ تا شکل ۱۰ مشاهده

می‌شود که مدل پیشنهادی با افزایش تعداد گره‌های

حسگر (چگالی شبکه) از نظر تعداد گره‌های فعال ۶ درصد

و از نظر متوسط انرژی باقیمانده ۱۱ درصد و از لحاظ

مصرف انرژی کل ۷ درصد نسبت به مدل MECA بهبود

داشته است. همچنین نمودار شکل ۷ نشان می‌دهد که با

کاهش سرعت حرکت چاهک‌ها در هر دو مدل پیشنهادی

و مدل MECA مصرف انرژی کل کاهش می‌یابد. بنابراین

در این آزمایش مدل پیشنهادی ۱۴ درصد نسبت به مدل

MECA بهبود داشته است. همچنین با توجه به نمودارهای

شکل ۸ تا ۱۰ مدل پیشنهادی با افزایش شعاع انتقال گره‌های

حسگر و گره‌های چاهک از نظر تعداد گره‌های فعال

۱۶ درصد و از نظر متوسط انرژی باقیمانده ۱۷ درصد و از

لحاظ مصرف انرژی کل ۱۶ درصد نسبت به مدل MECA

بهبود داشته است.

نتیجه‌گیری

در مدل پیشنهادی که در این مقاله مطرح شد، با در

نظر گرفتن محیط مورد بررسی گره‌های حسگر به صورت

یک دایره و حرکت چاهک‌ها در راستای دو لوزی تودرتو،

یک مسیر حرکت مناسب برای چاهک‌های متحرک ارائه

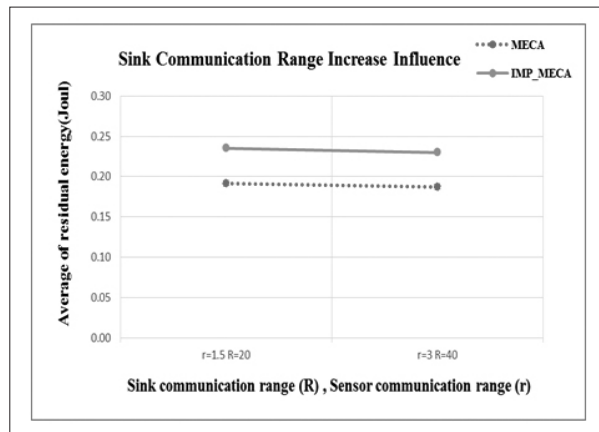
شده است که با حرکت چاهک‌ها در مرکز هر خوشه و

on Selected Areas in Communications, 2012. 30(9): p. 1719-1729.

8. Luo, J. and J.-P. Hubaux, Joint sink mobility and routing to maximize the lifetime of wireless sensor networks: the case of constrained mobility. *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, 2010. 18(3): p. 871-884.

9. Shi, Y. and Y.T. Hou, Some fundamental results on base station movement problem for wireless sensor networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, 2012. 20(4): p. 1054-1067.

10. Samimi, G., E.S. Torshizi, and A.M.A. Hemmatyar. *Wireless Sensor Network Lifetime Maximization Using Multiple Mobile Sink Nodes*. in *International Symposium on Computer Networks and Distributed Systems*. 2013. Springer.



شکل ۱۰: تاثیر افزایش شعاع انتقال گره‌ها و چاهک‌ها در متوسط انرژی باقیمانده

این مدل گره‌های بیشتری در هر خوشه به چاهک‌ها نزدیک می‌شوند و انتخاب‌های بیشتری برای سرخوشه شدن وجود دارد. همچنین نتایج شبیه‌سازی‌های هر دو مدل پیشنهادی و مدل MECA، نشان دهنده کاهش ۱۶ درصدی در مصرف انرژی کل، افزایش ۱۶ درصدی تعداد گره‌های فعال و ۱۷ درصدی متوسط انرژی باقیمانده در میان گره‌های حسگر در مدل پیشنهادی نسبت به مدل MECA می‌باشد.

مراجع

- Chinnappen-Rimer, S. and G. Hancke, Calculation of an optimum mobile sink path in a wireless sensor network. 2012: INTECH Open Access Publisher.
- Wang, J., et al., Mobility based energy efficient and multi-sink algorithms for consumer home networks. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2013. 59(1): p. 77-84.
- Wang, W., V. Srinivasan, and K.-C. Chua. Using mobile relays to prolong the lifetime of wireless sensor networks. in *Proceedings of the 11th annual international conference on Mobile computing and networking*. 2005. ACM.
- Lee, E., et al., Data gathering mechanism with local sink in geographic routing for wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2010. 56(3): p. 1433-1441.
- Torshizi, E.S., S. Yousefi, and J. Bagherzadeh. Life time maximization for connected target coverage in wireless sensor networks with sink mobility. in *Telecommunications (IST), 2012 Sixth International Symposium on*. 2012. IEEE.
- Chen, M., et al. Balanced itinerary planning for multiple mobile agents in wireless sensor networks. in *International Conference on Ad Hoc Networks*. 2010. Springer.
- Li, X., et al., Localized geographic routing to a mobile sink with guaranteed delivery in sensor networks. *IEEE Journal*