



دانشگاه کاشان
University of Kashan

مجله محاسبات نرم

SOFT COMPUTING JOURNAL

تارنمای مجله: scj.kashanu.ac.ir



الگوریتم چندمعیاره برای تعیین مسیر حرکت گره چاهک در شبکه‌های حسگر بی‌سیم*

محمد خلیلی درمنی^{۱*}، استادیار

^۱ دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خمین، خمین، ایران.

چکیده

استفاده از چاهک متحرک می‌تواند باعث افزایش کارایی شبکه‌های حسگر بی‌سیم شود. چاهک متحرک در محیط مورد نظارت حرکت می‌کند و اطلاعات گره‌های شبکه را جمع‌آوری می‌کند؛ بنابراین تعادل در مصرف انرژی و طول عمر شبکه حسگر بی‌سیم را افزایش می‌دهد. تعیین مسیر سفر چاهک معمولاً به صورت یک مسئله بهینه‌سازی مدل می‌شود، اما راه‌حل بهینه نیاز دارد که تمام پارامترهای شبکه در هر لحظه را جمع‌آوری کرده و سپس الگوریتم حل مدل بهینه‌سازی را به کار گرفته شود. لذا مدل بهینه‌سازی به حجم زیادی از پردازش و ارسال اطلاعات نیاز دارد و استفاده از آن در شبکه‌های بزرگ، غیرعملی و تقریباً غیرممکن است. در این مقاله، یک الگوریتم غیرمتمرکز برای تعیین مسیر سفر گره چاهک بر اساس اطلاعات محلی ارائه می‌شود که مکان‌هایی را که چاهک می‌تواند به آنجا تغییر مکان بدهد، به عنوان کاندید در نظر می‌گیرد. الگوریتم پیشنهادی بر اساس معیار تخمین طول عمر باقی‌مانده و مصرف انرژی در اطراف هر یک از کاندیدها تصمیم‌گیری می‌کند. استفاده از تاپسیس فازی در به دست آوردن الگوریتم غیرمتمرکز پیشنهادی برای تعیین مسیر حرکت گره چاهک در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، ایده‌ای است که اولین بار در این پژوهش مطرح و پیاده‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند به صورت قابل توجهی طول عمر شبکه را بهبود دهد.

© ۱۳۹۹ - مجله محاسبات نرم، کلیه حقوق محفوظ است.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۲۵ فروردین ماه ۱۳۹۹

پذیرش ۱۵ خرداد ماه ۱۳۹۹

کلمات کلیدی:

شبکه حسگر بی‌سیم

الگوریتم تاپسیس فازی

چاهک متحرک

طول عمر

انرژی مصرفی

۱. مقدمه

سریع انرژی خود را از دست می‌دهند [۱ و ۲]. زمانی که انرژی گره‌های مجاور چاهک به اتمام می‌رسد، ارتباط چاهک با شبکه قطع شده و شبکه از کار می‌افتد، درحالی‌که برخی از گره‌های حسگر قادر به ادامه فعالیت هستند [۲]. برای ایجاد توازن مصرف انرژی، محققان راهکارهای مختلفی را پیشنهاد داده‌اند که استفاده از چاهک متحرک در این میان مطرح می‌شود؛ به عبارت دیگر، با حرکت چاهک می‌توان مسئله چاله انرژی را کاهش و در نتیجه طول عمر شبکه را افزایش داد [۱]. البته استفاده از چاهک متحرک نیازمند ارائه الگوریتم‌های جدیدی

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، حسگرها اطلاعات مربوط به رخدادهای را جمع‌آوری کرده و برای چاهک ارسال می‌کنند. در این شبکه‌ها، انتقال اطلاعات از طریق گره‌های میانی و به صورت چندگامه انجام می‌شود. در نتیجه این نوع ارتباط، حسگرهای نزدیک به چاهک، بار ترافیکی بیشتری را حمل می‌کنند و خیلی

* نوع مقاله: پژوهشی

* نویسنده مسئول

پست الکترونیک: md.khalili@gmail.com (خلیلی درمنی)

یان و همکاران با هدف حداکثرسازی طول عمر، مسئله را به صورت بهینه‌سازی مدل کردند و سپس با استفاده از روش‌های ریاضی تبدیل لاگرانژ^۶ و تجزیه^۷ یک الگوریتم توزیع شده ارائه کردند. این الگوریتم پیچیدگی زیاد و توان محاسباتی بالایی نیاز دارد که مناسب شبکه‌های حسگر بی سیم نیست. از سوی دیگر، الگوریتم‌های توزیع شده، پویا و حریم‌ناهنای نیز برای تعیین مسیر حرکت گره چاهک ارائه شده است. الگوریتمی که در [۸] ارائه شده است، مسیر کوتاه‌تر را برای حرکت چاهک انتخاب می‌کند. در اصل، نویسندگان مقاله [۸] فرض کرده‌اند که انتخاب مسیر کوتاه‌تر منجر به مصرف انرژی کمتری می‌شود که در خیلی از کاربردها صحیح نیست. در الگوریتم ارائه شده در [۹]، گره چاهک به نقطه‌ای نقل مکان می‌کند که تأخیر و انرژی کمتری دارد. با وجود آنکه در حالت کلی این الگوریتم‌های حریم‌ناهن، سرعت و مرتبه اجرایی مناسبی دارند؛ اما ممکن است به یک جواب بهینه مناسب ختم نشوند.

در این مقاله برای تعیین مسیر حرکت چاهک در شبکه حسگر بی سیم، یک الگوریتم غیرمتمرکز چندمعیاره ارائه شده است. الگوریتم پیشنهادی از سیستم‌های تصمیم‌یار چندمعیاره و الگوریتم تاپسیس فازی استفاده می‌کند تا بهترین راه‌حل محلی برای تعیین مسیر حرکت گره چاهک مشخص شود. در الگوریتم پیشنهادی، هریک از مکان‌های ممکن برای حرکت گره‌های چاهک، یک کاندید است. سپس، برای انتخاب کاندید برتر، تخمین طول عمر باقی‌مانده و مصرف انرژی در اطراف هریک از کاندیدها به عنوان معیار در نظر گرفته می‌شود. در نهایت گره چاهک به صورت جداگانه بررسی می‌کند که میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل ایدئال و فاصله آن از راه‌حل ضدایدئال چقدر است و تصمیم‌گیری می‌کند به چه مکانی انتقال یابد. نتایج شبیه‌سازی و ارزیابی کارایی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی کارایی شبکه‌های حسگر بی سیم را بهبود می‌دهد.

در ادامه در بخش دوم به بررسی تحقیقات انجام شده در

برای شبکه حسگر بی سیم است. نویسندگان در [۱] یک الگوریتم جدید برای مسیریابی اطلاعات بین گره‌های حسگر و چاهک متحرک ارائه کردند و کیم^۱ و همکاران در [۳] مسیریابی چندمسیره^۲ جدیدی برای ارتباط با چاهک متحرک را پیشنهاد دادند. همچنین در [۲]، محققان مسئله انتخاب سرخوشه در شبکه حسگر بی سیم با چاهک متحرک را مد نظر قرار داده‌اند و در [۴]، کنترل دسترسی به رسانه MAC^۳ در شبکه حسگر بی سیم متحرک مورد بررسی قرار گرفته است.

در شبکه حسگر بی سیم که حرکت چاهک قابل کنترل است، نیاز است مسیری برای سفر چاهک مشخص شود که بر اساس آن حرکت کند و اطلاعات را جمع‌آوری کند. راه‌حل‌های مختلفی برای تعیین مسیر سفر چاهک ارائه شده است و معمولاً به صورت مسئله بهینه‌سازی اعداد صحیح فرموله می‌شود [۵]. اما حل چنین مدل‌های بهینه‌سازی به زمان اجرایی بالایی نیاز دارد [۶]. برخی محققان الگوریتم‌های ابتکاری یا فراابتکاری برای مسئله تعیین مسیر سفر چاهک راه‌حلی ارائه کردند. این روش‌ها (مدل‌های بهینه‌سازی و الگوریتم‌های ابتکاری) متمرکز هستند و نیاز دارند که تمام اطلاعات شبکه را در گرهی جمع‌آوری کرده و سپس مسیری برای حرکت چاهک محاسبه کنند [۷]. واضح است که الگوریتم‌های متمرکز و فوق‌پذیری پایینی دارند و در تغییرات و پویایی فیزیکی که در شبکه حسگر بی سیم مطرح است (مانند اضافه شدن گره‌های جدید یا نقص تعدادی از آن‌ها و تغییر میزان ترافیک تولیدی گره‌ها)، کارایی پایینی دارند [۸]. لذا اگر در حین حرکت گره‌های چاهک، خطایی رخ دهد و یا جریان تولیدی گره‌ها تغییر کند، روش‌های متمرکز کارایی لازم را ندارد و چاهک به مسیری از قبل تعیین شده ادامه خواهد داد. یان^۴ و همکاران در [۷] راهکاری برای حداکثرسازی طول عمر شبکه‌های حسگر بی سیم تحمل‌پذیر تأخیر^۵ ارائه دادند که در آن، یک الگوریتم توزیع شده برای تعیین مسیر حرکت گره چاهک ارائه شده است. در عمل،

1. Kim
2. Multipath
3. Medium Access Control
4. Yun
5. Delay-tolerant wireless sensor network

6. Lagrangian
7. Decomposition

مورد شبکه‌های حسگر بی‌سیم متحرک پرداخته شده است. در بخش سوم، الگوریتم غیرمتمرکز پیشنهادی ارائه می‌شود. ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در بخش چهارم توصیف شده است. در آخر و در بخش پنجم، نتیجه‌گیری و کارهای آینده ارائه شده است.

۱.۱. پیشینه تحقیق

این بخش از مقاله تحقیقات مرتبط با جوانب مختلف موضوع را بررسی و تحقیقات انجام‌شده در موضوع شبکه‌های حسگر بی‌سیم با چاهک متحرک را توصیف می‌کند.

کاربردهای متنوعی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم مطرح می‌شود که به‌علت آرایش اقتضایی^۱، عملکرد خودکار و پویایی آن‌هاست. توان پردازشی، منبع انرژی و ارتباطی گره‌های این شبکه‌ها محدود است و باید از منابع پردازشی و ارتباطی به‌طور بهینه و متوازن استفاده کنند. چاهک متحرک یکی از راهکارهای متوازن‌سازی انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است [۵]. چاهک متحرک می‌تواند به‌صورت تصادفی، معین و یا کنترل‌شده حرکت کند. در حرکت تصادفی، چاهک از انرژی باقی‌مانده حسگرها آگاهی ندارد و بنابراین ممکن است تعادل انرژی بین حسگرها را تهدید کند. مدل مسیر معین فاقد انعطاف است و با اندازه شبکه مقیاس‌پذیر نیست [۵]. بنابراین استراتژی حرکت کنترل‌شده چاهک بهتر می‌تواند با شرایط شبکه‌های مختلف سازگار شود [۱۰].

یافتن مسیر حرکت بهینه چاهک با مسئله فروشنده دوره‌گرد با زمان اقامت متغیر معادل است. هدف از این مسئله بهینه‌سازی مدت زمان ملاقات و ترتیب مکان‌های اقامت است. نویسندگان در [۱۰]، یک مدل بهینه‌سازی خطی مختلط^۲ برای تعیین مسیر حرکت گره چاهک در شبکه حسگر بی‌سیم ارائه کردند. آن‌ها فرض کردند که گره‌ها اطلاعات را در حافظه خود را نگهداری می‌کنند تا گره چاهک به مکانی در مجاورت آن‌ها نقل مکان کند، سپس به‌صورت تک‌گامه اطلاعات را تحویل چاهک

می‌دهند. نویسندگان در [۱۱]، مسئله تعیین مسیر سفر حرکت گره‌های چاهک در شبکه حسگر بی‌سیم مبتنی بر کدگذاری شبکه را به‌صورت مدل بهینه‌سازی غیرخطی مختلط ارائه دادند. به‌علت پیچیدگی حل مسائل بهینه‌سازی مختلط در شبکه‌های بزرگ، برخی محققان از الگوریتم‌های ابتکاری یا فراابتکاری برای کاهش زمان در حل مسئله تعیین مسیر بهینه سفر گره‌های چاهک استفاده کرده‌اند. اما روش‌های متمرکز نیاز دارند که اطلاعات کل شبکه را جمع‌آوری کرده و سپس مسیر را تعیین کنند. همچنین، استفاده از اطلاعات سراسری برای اتخاذ تصمیم جابه‌جایی چاهک، باعث کاهش پویایی شبکه و افزایش مصرف انرژی و تأخیر خواهد شد [۹]. این خصوصیت الگوریتم‌های متمرکز باعث می‌شود که استفاده آن‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم بزرگ و واقعی، تقریباً غیرممکن باشد [۸].

در الگوریتم‌های غیرمتمرکز و یا توزیع‌شده تعیین مسیر حرکت چاهک، از اطلاعات محلی استفاده می‌شود. این الگوریتم‌ها زمان حل مسئله و انرژی لازم برای جمع‌آوری مقادیر پارامترهای شبکه را کاهش می‌دهند [۷ و ۹]. اتخاذ تصمیم جابه‌جایی چاهک متحرک می‌تواند بر پایه اطلاعاتی مانند میزان انرژی باقی‌مانده گره‌های حسگر، بار ترافیکی، میزان فضای باقی‌مانده در حافظه گره‌ها و مواردی از این قبیل انجام گیرد [۸]. البته در تحقیقات مرتبط با این موضوع، چاهک به‌صورت حریم‌ناهن به منطقه‌ای منتقل می‌شود که مقدار بیشتری در یک معیار مشخص داشته باشد. برای مثال چاهک به سمت گره‌های با حداکثر انرژی باقی‌مانده حرکت می‌کند [۷]. نمونه دیگر، حرکت چاهک به سمت نواحی با تراکم بیشتر انرژی است. دلیل این است که ناحیه‌های با جمعیت زیاد و میزان انرژی بالا، منابع مسیریابی فراوانی را دارا خواهند بود و بار کاری بازپخش اطلاعات بر روی گره‌های متعددی پخش خواهد شد [۸]. در حالت کلی، این روش‌ها سرعت و مرتبه اجرایی بهتری نسبت به روش‌های متمرکز دارند، اما ممکن است به جواب بهینه مناسبی ختم نشوند و لزوماً با نتایج مناسب روبه‌رو نیستند. دقت شود که در این الگوریتم‌ها، مستقل از اینکه در مراحل قبلی چه انتخاب‌هایی صورت گرفته و انتخاب فعلی

1. Ad hoc
2. Mixed Integer Programming

این بخش ابتدا مدل مسئله تعیین مسیر حرکت گره چاهک توصیف شده و سپس با استفاده از الگوریتم تاپسیس فازی، یک الگوریتم غیرمتمرکز برای تعیین مسیر حرکت گره‌های چاهک ارائه گردیده است.

۱.۲. مدل مسئله و نمادها

در این پژوهش فرض می‌شود که گره‌های حسگر ثابت هستند و در طول عمر شبکه، تغییر مکان نمی‌دهند. این گره‌ها اطلاعات را از محیط حس کرده و به صورت چندگامه برای گره چاهک ارسال می‌کنند. گره چاهک دارای قابلیت حرکت کنترل‌شده است و فرض می‌شود که مجهز به گیرنده-فرستنده بی سیم با پهنای باند و دامنه ارسال بالاست تا بتواند بعد از به دست آوردن داده، آن‌ها را به صورت مستقیم به ایستگاه پایه ارسال کند. همچنین فرض می‌شود که گره‌ها به صورت گرید^۱، مانند شکل (۱) در فاصله‌های مساوی و مشخصی از همدیگر قرار گرفته‌اند و مکان‌های اقامت گره‌های چاهک، در مرکز چهار گره طراحی شده است. مجموعه $M = \{1, \dots, q\}$ ، مجموعه مکان‌ها برای قرارگیری گره‌های چاهک را تعریف می‌کند که گره‌های چاهک می‌تواند در آن نقاط، اقامت موقت داشته باشد.

پارامتر R_{max} حداکثر مسافتی است که چاهک می‌تواند از یک مکان به یک مکان دیگر حرکت کند؛ به عبارت دیگر، اگر چاهک در مکان $m \in M$ قرار داشته باشد، فقط می‌تواند به مکان‌هایی برود که فاصله آن‌ها از مکان فعلی کمتر یا مساوی R_{max} باشد. بنابراین برای هر گره چاهک، دوتایی (m, R_{max}) به طور یکتا مکان‌هایی را تعریف می‌کند که در مجموعه M باشد و فاصله اقلیدسی آن‌ها از m کمتر یا مساوی R_{max} باشند. به عبارت دیگر

$$(m, R_{max}) = \{k | k \in M, d_{(m,k)} \leq R_{max}\} \quad (1)$$

که $d_{(m,k)}$ فاصله اقلیدسی بین دو مکان اقامت چاهک $m, k \in M$ است. برای مثال همان طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، اگر چاهک در مکان شماره ۲۵ قرار گرفته باشد، بر اساس دامنه حرکتی گزینه‌های پیش رو برای آن

ممکن است چه انتخاب‌هایی در پی داشته باشد، انتخابی که در ظاهر بهترین انتخاب ممکن است، صورت می‌پذیرد.

در برخی از تحقیقات اخیر سعی شده است که با افزایش سرعت حرکت چاهک متحرک و یا استفاده از چند چاهک، سیستم‌های کارآمدتری ایجاد شود. در عمل، این راهکارها موجب می‌شوند که چاهک‌های متحرک می‌توانند در یک فاصله زمانی حسگرهای بیشتری را ملاقات کنند و اطلاعات بیشتری را جمع‌آوری کنند [۱۰]. هرچه سرعت چاهک‌های متحرک بیشتر باشد، احتمال اینکه گره‌های ایستا بتوانند چاهک‌های متحرک را ملاقات کنند افزایش می‌یابد. اما وقتی چاهک‌های متحرک در ناحیه حسگرها خیلی سریع حرکت کنند، احتمال ناموفق بودن انتقال اطلاعات حجیم افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، در [۱۲] نشان داده شده است که استفاده از چند چاهک باعث افزایش کارایی شبکه حسگر بی سیم متحرک می‌شود. در [۱۳ و ۱۴] اذعان شده است که افزایش تعداد چاهک‌ها مسئله انتخاب مکان قرارگیری چاهک‌ها و همچنین تعیین مسیر حرکت چاهک‌ها را پیچیده‌تر می‌کند.

در برخی تحقیقات اخیر اذعان شده است که الگوریتم‌های مورد استفاده در شبکه‌های حسگر بی سیم باید چندین معیار را مد نظر قرار داد. نویسندگان در [۱۵]، از الگوریتم TOPSIS فازی برای تعیین سرخوشه در شبکه حسگر بی سیم ارائه دادند. در [۱۶]، از TOPSIS فازی برای بهبود مسیریابی AODV در شبکه‌های بین خودرویی استفاده شده است. این الگوریتم‌ها گزینه‌ای را انتخاب می‌کنند که کمترین فاصله را از راه حل ایده‌آل مثبت و طولانی‌ترین فاصله از راه حل ایده‌آل منفی داشته باشد.

۲. مدل‌سازی مسئله و الگوریتم پیشنهادی

شبکه‌های حسگر بی سیم پویا هستند و نمی‌توان تمام نیازهای جریان ترافیکی در یک شبکه حسگر بی سیم را از قبل مشخص کرد. بنابراین لازم است یک الگوریتم غیرمتمرکز برای تعیین مسیر حرکت چاهک ارائه شود که بر اساس اطلاعات محلی تصمیم‌گیری شود که چاهک به کدام مکان کاندید برود. در

تشابه را با راه‌حل ایدئال مثبت و فاصله بیشتری از ایدئال منفی داشته باشند، رتبه بالاتری کسب می‌کنند.

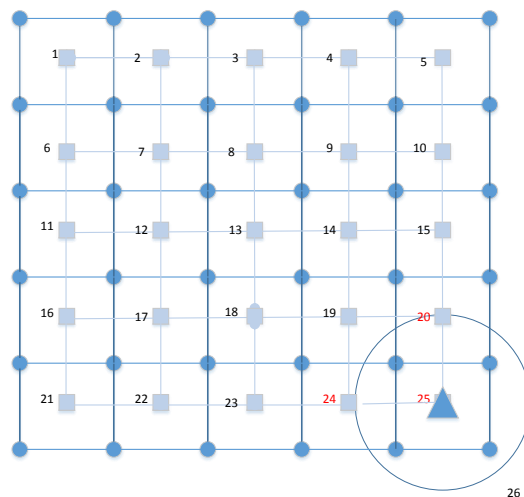
۲.۲. معیارهای انتخاب مکان اقامت بعدی

برای حرکت گره چاهک متحرک در طول شبکه حسگر بی‌سیم، معیارهای مختلفی را می‌توان در نظر داشت. اما به‌علت اینکه الگوریتم پیشنهادی به‌صورت غیرمتمرکز و بر اساس اطلاعات محلی انتخاب مکان اقامت بعدی را مشخص می‌کند، معیارهایی که برای این منظور انتخاب می‌شوند، در اطراف چاهک در دسترس است. در این مقاله، هشت معیار مدنظر قرار گرفته است. این معیارها بر اساس میزان انرژی باقی‌مانده و تخمین طول عمر باقی‌مانده گره‌های چهار طرف مکان اقامت کاندید را مشخص می‌کنند. گره چاهک با استفاده از معیارهای عنوان‌شده، به ارزیابی کاندیداهای ممکن برای حرکت خود می‌پردازد.

در همسایگی کاندیداهای محل اقامت گره چاهک، چهار گره حسگر وجود دارد. این گره‌ها وظیفه دریافت اطلاعات از دیگر گره‌های شبکه حسگر بی‌سیم را دارند تا بتوانند به چاهک منتقل کنند. بنابراین، بار ترافیکی بیشتری به این گره‌ها اعمال می‌شود. لذا میزان انرژی باقی‌مانده و تخمینی از طول عمر باقی‌مانده این گره‌ها، به‌عنوان معیارها استفاده شده است. در ادامه، چگونگی محاسبه معیارها برای هریک از کاندیدها توصیف شده است.

واضح است که میزان سطح انرژی گره‌ها، برای تصمیم‌گیری چاهک بسیار حائز اهمیت است. چهار گره اطراف یک کاندید برای اقامت چاهک، باید از سطح انرژی کافی برخوردار باشند، در غیر این صورت با از کار افتادن آن‌ها ارتباط چاهک با سایر گره‌ها قطع شده و شبکه دچار اختلال می‌شود. چاهک می‌تواند انرژی همسایه‌های مکان‌های کاندید را بررسی کرده و اگر انرژی مطلوبی داشته باشند، به‌عنوان امتیاز مثبت در نظر گرفته می‌شود و در صورتی که انرژی آن‌ها کم باشد، به‌عنوان امتیاز منفی تلقی می‌گردد. بر اساس سطح انرژی باقی‌مانده و انرژی اولیه گره، پنج حالت انرژی متصور شده است که در جدول (۱) نشان داده شده‌اند. در عمل، این جدول بر اساس انرژی

مکان‌های شماره ۲۰، ۲۴ و یا عدم تحرک و باقی ماندن در مکان فعلی ۲۵ است. همچنین، اگر چاهک در مکان $m \in M$ اقامت داشته باشد، H_m تعداد مکان‌ها یا کاندیدهایی را نمایش می‌دهد که چاهک متحرک می‌تواند به آن‌ها نقل مکان کند.



شکل (۱): کاندیدهای ممکن برای حرکت چاهک

سناریویی که در ادامه سعی در بهینه‌سازی آن شده، به این شکل است که گره چاهک ابتدا از مکان 1 آغاز می‌کند. گره‌های حسگر اطلاعات را از محیط اطراف احساس کرده و به‌صورت چندگانه برای چاهک ارسال می‌کنند. بعد از اتمام مدت‌زمان سیکل، چاهک مکان خود را در صورت لزوم ترک کرده و به یک مکان جدید تغییر مکان می‌دهند. الگوریتم پیشنهادی، یک الگوریتم غیرمتمرکز است و گره چاهک بر اساس اطلاعات محلی تصمیم‌گیری می‌کند که به کدام مکان اقامت موقت برود. اگر چاهک در مکان $m \in M$ اقامت داشته باشد، H_m کاندید به‌وسیله معیارها ارزیابی می‌شود. در الگوریتم پیشنهادی، راه‌حل‌های ایدئال مثبت و منفی را تعریف می‌کند و کاندید مطلوب، گزینه‌ای است که کمترین فاصله از راه‌حل ایدئال مثبت و در عین حال دورترین فاصله از راه‌حل ایدئال منفی را دارد. راه‌حل ایدئال مثبت، گزینه‌ای است که بهترین شرایط را از دید یک معیار مشخص دارد و ایدئال منفی، کاندیدی است که دارای بدترین شرایط در یک معیار باشد؛ به‌عبارت دیگر، در رتبه‌بندی مکان‌های اقامت ممکن به روش تاپسیس، کاندیدی که بیشترین

می‌شود. در انتها، تخمین طول عمر باقی‌مانده گره در اسلات زمانی بعدی با $\frac{RE}{B(n+1)}$ متناسب خواهد بود.

۳.۲. تشکیل ماتریس تصمیم

در این مرحله، از الگوریتم پیشنهادی ماتریسی تشکیل می‌شود که ماتریس تصمیم نامیده می‌شود. این ماتریس بر اساس اطلاعات موجود در اطراف گره چاهک ایجاد می‌شود. تعداد سطرهاى این ماتریس برابر تعداد کاندیدهاست و هشت ستون دارد که برابر تعداد معیارهاست. همان طور که بیان شد، معیارها میزان انرژی باقی‌مانده و طول عمر تخمینی چهار گره اطراف کاندید را برمی‌گردانند. بدین ترتیب، اگر چاهک در مکان $m \in M$ اقامت داشته باشد، ماتریس $\widetilde{DM}_0 = (\widetilde{x}_{ij})_{H_m \times 8}$ به شکل زیر تولید می‌شود.

$$\widetilde{DM}_0 = \begin{bmatrix} \widetilde{x}_{1,1} & \cdots & \widetilde{x}_{1,8} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \widetilde{x}_{|H_m|,1} & \cdots & \widetilde{x}_{|H_m|,8} \end{bmatrix} \quad (۳)$$

که \widetilde{x}_{ij} یک عدد فازی است و انتخاب کاندیدای i ام بر اساس معیار j ام را ارزیابی می‌کند و به صورت (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) است.

۴.۲. نرمال کردن ماتریس تصمیم

هدف از نرمال‌سازی، بی‌مقیاس کردن معیارها نسبت به یکدیگر است؛ به عبارت دیگر، به منظور قابل مقایسه شدن مقیاس‌های مختلف اندازه‌گیری، از نرمال‌سازی استفاده می‌شود تا بدین وسیله بتوان عناصر معیارها را به صورت بدون بعد اندازه‌گیری کرد [۱۵]. ماتریس تصمیم را با استفاده از روش‌های مختلفی نرمال‌سازی می‌کنند. ماتریس نرمال‌شده $\widetilde{DM}_1 = (\widetilde{y}_{ij})_{H_m \times 8}$ با استفاده از ماتریس $\widetilde{DM}_0 = (\widetilde{x}_{ij})_{H_m \times 8}$ ایجاد می‌شود. در این مقاله، از نرمال‌سازی خطی برای تبدیل مقیاس معیارهای مختلف به مقیاس قابل مقایسه استفاده می‌شود. چگونگی محاسبه درایه‌های ماتریس تصمیم فازی بی‌مقیاس شده برای معیارهای سود و هزینه متفاوت است. اما در این مقاله، تمام معیارها مثبت هستند و نرمال‌سازی بر اساس معیارهای مثبت محاسبه می‌شود. در این نرمال‌سازی، ابتدا باید ماکزیمم مؤلفه سوم اعداد فازی مثلثی هر ستون ماتریس تصمیم فازی را به طور جداگانه به دست آورد، سپس مؤلفه‌های

باقی‌مانده گره یک مقدار فازی ارائه می‌دهد؛ جایی که RI میزان انرژی اولیه گره و RE میزان انرژی باقی‌مانده گره است.

جدول (۱): مقدار فازی متناسب با انرژی باقی‌مانده و اولیه گره‌ها

مقدار فازی	مقدار انرژی باقی‌مانده
(0,0,1)	$0 \leq RE < \frac{1}{5}RI$
(1,3,5)	$\frac{1}{5}RI \leq RE < \frac{2}{5}RI$
(3,5,7)	$\frac{2}{5}RI \leq RE < \frac{3}{5}RI$
(5,7,9)	$\frac{3}{5}RI \leq RE < \frac{4}{5}RI$
(7,9,9)	$\frac{4}{5}RI \leq RE < RI$

از سوی دیگر، در مدت زمانی که گره چاهک در یک مکان حضور دارد، وابسته به میزان جریان عبوری از گره، انرژی آن تلف می‌شود. هریک از گره‌های اطراف مکان اقامت موقت، بار ترافیکی متفاوتی را عبور می‌دهد که بر روی طول عمر باقی‌مانده آن‌ها تأثیر می‌گذارد. بنابراین معیار دیگری که باید برای هریک مدنظر قرار داده شود، تخمین طول عمر باقی‌مانده گره‌های اطراف مکان کاندید است. میزان بار ترافیکی، به مکان قرارگیری گره‌ها، میزان جریان تولیدی توسط گره‌های شبکه و مکانی که گره چاهک قرار گرفته، وابسته است. در این مقاله، بر اساس جریان عبوری در اسلات زمانی جاری و قبلی، میزان جریان تخمینی برای اسلات زمانی بعدی مشخص می‌شود. تخمین بار ترافیکی در اسلات زمانی بعد، $\widehat{B}(n+1)$ ، با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\widehat{B}(n+1) = \varphi \widehat{B}(n-1) + (1-\varphi)B(n) \quad (۲)$$

$B(n)$ میزان ترافیکی است که در دوره زمانی فعلی از گره عبور کرده است؛ $\widehat{B}(n-1)$ متوسط ترافیک عبوری در دوره‌های قبل، و φ ضریبی است که میزان چابکی و اثر میزان ترافیک عبوری در دوره‌های گذشته را مشخص می‌کند. در عمل ممکن است در گذشته بار ترافیکی که از گره عبور می‌کرده، دوباره به گره اعمال شود و با کمک این رابطه تخمینی از بار ترافیکی که در دوره بعد به گره اعمال خواهد شد محاسبه

که در آن، \tilde{p}_j^+ و \tilde{p}_j^- اعداد فازی مثلثی هستند که جوابی ایدئال مثبت و منفی فازی برای معیار j ام هستند و به صورت زیر به دست می آیند.

$$\tilde{p}_j^+ = \text{Max}_{1 \leq i \leq H_m} \{\tilde{z}_{i,j}\} \quad (9)$$

$$\tilde{p}_j^- = \text{Min}_{1 \leq i \leq H_m} \{\tilde{z}_{i,j}\} \quad (10)$$

گزینه‌هایی که در A^+ و A^- قرار می‌گیرند، به ترتیب نشان‌دهنده گزینه‌های کاملاً بهتر و کاملاً بدترند.

۶.۲. فاصله از ایدئال‌های مثبت و منفی

میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل ایدئال مثبت و منفی در این مرحله محاسبه می‌شود. فاصله گزینه i ام با ایدئال‌ها با استفاده از روش اقلیدسی از روابط زیر به دست می‌آید:

$$D_i^+ = \sum_{j=1}^8 d(\tilde{z}_{i,j}, \tilde{p}_j^+) \quad (11)$$

و

$$D_i^- = \sum_{j=1}^8 d(\tilde{z}_{i,j}, \tilde{p}_j^-) \quad (12)$$

که در آن $d(\tilde{z}_{i,j}, \tilde{p}_j^+)$ فاصله گزینه i ام از جواب ایدئال فازی برای معیار j ام است که از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]} \quad (13)$$

۷.۲. محاسبه راه‌حل ایدئال

واضح است که D_i^+ و D_i^- که در مرحله قبل محاسبه شدند، اعداد صحیح هستند. در آخرین گام از الگوریتم پیشنهادی، نزدیکی نسبی کاندیداها با راه‌حل‌های ایدئال مثبت و منفی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$CL_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (14)$$

مقدار CL_i بین صفر و یک است و هرچه این مقدار برای یک کاندید به یک نزدیک‌تر باشد، آن کاندید به جواب ایدئال مثبت نزدیک‌تر است و از ایدئال منفی دورتر است؛ به عبارت دیگر، مقادیر شاخص شباهت از بزرگ به کوچک مرتب می‌شوند و کاندیدی که دارای بزرگ‌ترین مقدار شاخص شباهت باشد، بهترین گزینه است. در عمل، مکانی که در همسایگی آن

هریک از اعداد فازی مثلثی آن ستون را بر ماکزیمم به دست‌آمده تقسیم کرد؛ به عبارت دیگر،

$$\tilde{y}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \quad (4)$$

که

$$c_j^* = \max_{1 \leq i \leq m} \{c_{ij}\} \quad (5)$$

۵.۲. وزن دار کردن ماتریس تصمیم

در این مرحله ماتریس تصمیم تشکیل شده را در وزن هر معیار ضرب کرده و ماتریس تصمیم نرمال‌شده وزن دار تشکیل می‌شود. در عمل، ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، به صورت $\tilde{W} = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_8)$ تعریف می‌شود. بنابراین، وزن معیار j ام به صورت $\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ تعریف شده است. ماتریس وزن دار و نرمال‌شده $\tilde{DM}_2 = (\tilde{z}_{ij})_{H_m \times 8}$ به شکل زیر محاسبه می‌شود.

$$\tilde{z}_{ij} = \tilde{w}_j \cdot \tilde{y}_{ij} \quad (6)$$

در این مقاله، معیارها با اهمیت یکسان مدنظر قرار گرفته و وزن معیارها مساوی هم و $(1,1,1)$ در نظر گرفته شده است. بنابراین، با ضرب کردن هر معیار در ستون‌های ماتریس تصمیم فازی بی‌مقیاس شده، هیچ تغییری حاصل نمی‌شود. لذا ماتریس تصمیم فازی بی‌مقیاس شده وزن دار برابر با ماتریس تصمیم فازی بی‌مقیاس شده است.

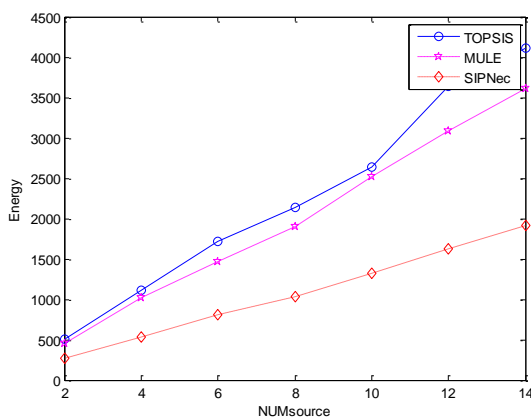
۶.۲. محاسبه ایدئال‌های مثبت و منفی

در این مرحله، برای هر شاخص یک گزینه به‌عنوان ایدئال مثبت و یک گزینه به‌عنوان ایدئال منفی محاسبه می‌شود. دقت شود که از آنجایی که این معیارها مثبت‌اند یا بیشتر بودن انرژی و تخمین طول عمر باقی مانده هر یک از این گروه‌ها مفید است، ایدئال مثبت گزینه‌ای است که بیشترین مقدار آن معیار را در بین تمام گزینه‌ها دارد و ایدئال منفی، گزینه‌ای است که در بین گزینه‌ها از لحاظ یک معیار کمترین مقدار را دارا باشد. بدین ترتیب، جواب ایدئال فازی و جواب ضدایدئال فازی به ترتیب به صورت زیر هستند:

$$A^+ = (\tilde{p}_1^+, \tilde{p}_2^+, \dots, \tilde{p}_8^+) \quad (7)$$

$$A^- = (\tilde{p}_1^-, \tilde{p}_2^-, \dots, \tilde{p}_8^-) \quad (8)$$

انرژی شبکه می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش SIPNec نسبت به روش MULE و روش تاپسیس بهتر عمل کرده و نتایج بهتری ارائه نموده است. این موضوع به دلیل آن است که روش SIPNec از اطلاعات سراسری شبکه استفاده می‌کند و مسیر حرکت چاهک و زمان‌های اقامت در مکان‌های مختلف را مشخص می‌کند. همچنین، افزایش تعداد منابع منجر به کاهش کارایی الگوریتم پیشنهادی می‌شود.



شکل (۲): نمودار نتایج شبیه‌سازی با منابع مشخص

جدول (۲): میزان طول عمر شبکه در شبکه با تعداد منابع مختلف

Num _{source}	MULE	SIPNec	TOPSIS
۲	۴۴۵۲۳/۶	۷۵۹۸۷/۸۴	۳۹۸۳۲/۷
۴	۱۹۷۰۰/۵۵	۳۷۹۳۶/۲۷	۱۷۹۵۸/۱۶
۶	۱۳۵۷۹/۵۸	۲۴۶۰۶/۳	۱۱۶۱۹/۱۳
۸	۱۰۴۹۰/۹۸	۱۹۲۴۵/۵۷	۹۳۴۷/۱
۱۰	۷۹۲۳/۹۳	۱۵۰۷۳/۸۶	۷۵۹۹/۶۵
۱۲	۶۴۷۵/۰۱	۱۲۳۴۸/۷۳	۵۴۸۸/۶۲
۱۴	۵۵۲۸/۳۳	۱۰۴۷۹/۹۸	۴۸۶۷/۱۳

در آزمایش بعدی، طول عمر شبکه حسگر بی‌سیم شبیه‌سازی شده و نتایج در جدول (۲) نمایش داده شده است. در این مقاله، طول عمر شبکه مدت‌زمانی را تعریف می‌کند که از شروع به کار شبکه تا زمان مرگ اولین گره (به‌علت اتمام انرژی) سپری می‌شود. واضح است با افزایش تعداد گره‌های تولیدکننده اطلاعات، حجم اطلاعات بیشتری تولید می‌شود و در نتیجه انرژی مصرفی شبکه افزایش پیدا می‌کند. بنابراین

گره‌های با انرژی بالاتر و تخمین طول عمر بیشتر حضور دارند، توسط چاهک اولویت بیشتری خواهند داشت.

۳. ارزیابی کارایی و شبیه‌سازی

در این مقاله، برای تعیین الگوریتم مسیر حرکت گره چاهک با استفاده از تکنیک تاپسیس فازی، یک الگوریتم غیرمتمرکز توصیف شد. در این بخش به بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی و مقایسه با کارهای گذشته پرداخته خواهد شد.

برای شبیه‌سازی، شبکه‌ای منظم با تعداد ۴۰۰ عدد حسگر، در نظر گرفته شد که بر روی فضای مربعی شکل با ابعاد ۲۰۰ در ۲۰۰ متر قرار گرفته‌اند. گره‌های حسگر با فاصله ۱۰ متر از یکدیگر قرار گرفته و دامنه ارسال هر گره ۱۵ متر است. هر گره در این شبکه حداکثر با ۸ گره همسایه و در ارتباط است. فرض می‌شود که گره‌ها به‌طور متناوب بسته‌ها را با سرعت ده کیلو بایت در ثانیه تولید می‌کنند. اندازه بسته‌ها برابر ۵۱۲ بایت در نظر گرفته شده است. گره‌ها دارای برنامه زمانی خواب و بیدار ایدئال هستند، به‌طوری که تنها هنگام ارسال یا انتقال بسته‌ها بیدارند. کانال انتقال نیز ایدئال و بدون هیچ خطای هنگام ارسال، با نرخ ارسال ۲۵۰kbps در نظر گرفته شده است. پارامترهای فوق برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار متلب ۲۰۱۴ نسخه R2014a بر روی سیستم کامپیوتری با پردازنده core i7 استفاده شده است.

در ادامه برای ارزیابی کارایی، الگوریتم پیشنهادی با مکانیزم‌های MULE و SIPNec مقایسه شده است. SIPNec در [۱۰] معرفی شده که یک مدل بهینه‌سازی ریاضی است و به‌صورت متمرکز عمل می‌کند. این مکانیزم، زمان اقامت در مکان‌های مختلف را متغیر در نظر گرفته است. روش MULE [۱۱] نیز یک مدل بهینه‌سازی برای تعیین مسیر سفر گره چاهک است. بنابراین، تفاوت روش‌های MULE و SIPNec در زمان اقامت متغیر است.

میزان مصرف انرژی در شبکه‌های با تعداد منابع ارسال داده، Num_{source} ، متفاوت در شکل (۲) نشان داده شده است. واضح است که افزایش Num_{source} منجر به افزایش مصرف

غیرمتمرکز، الگوریتم بعد از هر حرکت مجدداً به بررسی گره‌های اطراف می‌پردازد و سپس تصمیم به حرکت می‌کند در صورتی که در الگوریتم‌های متمرکز ابتدای حرکت کل شبکه بررسی شده و یک مسیر برای گره چاهک تعیین می‌شود که اگر منابع مشخص بوده و خطایی رخ ندهد، الگوریتم‌های متمرکز بهتر عمل می‌کنند.

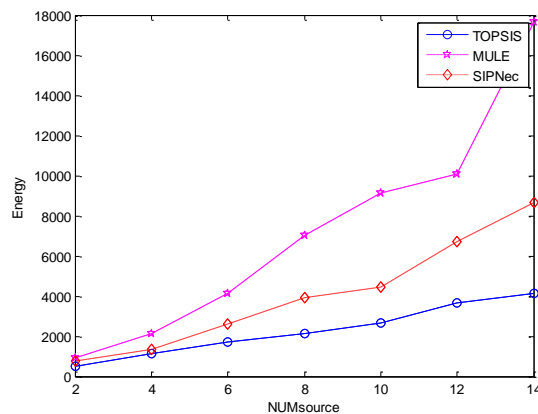
جدول (۳): میزان طول عمر شبکه در شبکه با تعداد منابع مختلف

Num_{source}	MULE	SIPNec	TOPSIS
۲	۲۲۱۹۵/۰۹	۲۶۶۵۶	۳۶۲۱۱/۵۵
۴	۹۳۴۹/۲۹	۱۵۱۴۵/۷۸	۱۶۳۲۵/۶
۶	۴۸۶۱/۸	۷۶۷۱/۰۶	۱۰۵۶۲/۸۴
۸	۲۸۵۶/۶۱	۵۰۷۵/۲۴	۸۴۹۷/۳۷
۱۰	۲۱۸۵/۰۳	۴۴۹۰/۲۴	۶۹۰۸/۷۷
۱۲	۱۹۸۵/۹۲	۲۹۸۴/۲۷	۴۹۸۹/۶۶
۱۴	۱۱۳۱/۷۷	۲۳۰۶/۴۶	۴۴۲۴/۶۶

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از تکنیک تاپسیس فازی، یک الگوریتم غیرمتمرکز برای تعیین مسیر حرکت گره چاهک ارائه شد. الگوریتم پیشنهادی، مکان‌هایی را که می‌تواند به آن‌ها نقل مکان کند، مشخص می‌کند و سپس با مقایسه معیارهای تعریف‌شده، مکان بعدی استقرارش را تعیین می‌کند. انرژی و تخمین طول عمر باقی‌مانده گره‌های اطراف محل کاندید، معیارهای مورد استفاده در این تصمیم‌گیری هستند. عملکرد غیرمتمرکز الگوریتم پیشنهادی باعث می‌شود که در مواجهه با تغییرات پویای شبکه و خطاهای احتمالی، کارایی بهتری نسبت به روش‌های موجود ایجاد کند و نسبت به روش‌های موجود مصرف انرژی کمتر و طول عمر بیشتری فراهم کند. مزیت دیگر الگوریتم پیشنهادی، عدم نیاز به دسترسی به اطلاعات تمام گره‌های شبکه است و بنابراین هزینه جمع‌آوری اطلاعات شبکه در یک گره مرکزی را ندارد.

افزایش Num_{source} منجر به کاهش طول عمر شبکه خواهد شد. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی طول عمر کمتری فراهم کرده و SIPNec بالاترین طول عمر را فراهم کرده است. در سناریوی بعدی شبیه‌سازی، فرض شده است منابع اطلاعاتی از قبل تعیین شده نیست و هر گره به صورت تصادفی اطلاعاتی تولید می‌کند که باید برای گره چاهک ارسال شود. به عبارت دیگر، جریان‌های اطلاعاتی در زمان تصادفی و توسط یک گره تصادفی تولید می‌شود. این حالت بیشتر به شبکه‌های حسگر بی‌سیم عملی شباهت دارد. انرژی مصرفی گره‌های شبکه زمانی که الگوی تولید ترافیک به صورت تصادفی است، در شکل (۳) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که روش‌های SIPNec و MULE مصرف انرژی بیشتری در مقایسه با روش TOPSIS داشته‌اند و با افزایش تعداد منابع ارسال اطلاعات، اختلاف آن‌ها بیشتر می‌شود. از سوی دیگر، TOPSIS با افزایش تعداد منابع جریان، بهره‌وری بیشتری فراهم می‌کند. بهبود عملکرد TOPSIS به دلیل عملکرد غیرمتمرکز آن است که در لحظه با بررسی کاندیدهای ممکن و مقایسه آن با معیارهای موجود، برای تعیین مسیر چاهک متحرک تصمیم‌گیری می‌کند.



شکل (۳): انرژی مصرفی در مقابل تعداد گره‌های منبع جریان

میزان طول عمر شبکه در بار ترافیکی متغیر در جدول (۳) نشان داده شده است. روش پیشنهادی در این پژوهش نسبت به دیگر روش‌ها بسیار بهتر عمل می‌کند. به طور کلی روش‌های غیرمتمرکز در زمان‌هایی که منابع ارسال اطلاعات مشخص نباشد، نسبت به دیگر روش‌ها بهتر عمل می‌کند. در روش‌های

- [1] Rady A., Shokair M., El-Rabaie E.S.M., Saad W. and Benaya A., "Energy-efficient routing protocol based on sink mobility for wireless sensor networks", *IET Wireless Sensor Systems*, vol. 9, no. 6, pp.405-415, 2019.
- [2] Messai S., Aliouat Z., Seba H. and Boukerram A., "Adaptive sink mobility for energy-efficient data collection in grid-based wireless sensor networks", *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, vol. 29 (1-2), pp. 41-49, 2018.
- [3] Kim C., Yim Y., Yang T., Kim S. and Kim S.H., "Multipath Management Scheme for Supporting Sink Mobility in Wireless Sensor Networks", In *2017 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pp. 1-6, 2017.
- [4] Papadopoulos G.Z., Kotsiou V., Gallais A., Chatzimisios P. and Noel T., "Low-power neighbor discovery for mobility-aware wireless sensor networks", *Ad Hoc Networks*, vol. 48, pp. 66-79, 2016.
- [5] Bouaziz M. and Rachedi A., "A survey on mobility management protocols in Wireless Sensor Networks based on 6LoWPAN technology", *Computer Communications*, vol. 74, pp. 3-15, 2016.
- [6] Tashtarian F., Moghaddam M.Y., Sohraby K. and Effati S., "ODT: Optimal deadline-based trajectory for mobile sinks in WSN: A decision tree and dynamic programming approach", *Computer Networks*, vol. 77, pp. 128-143, 2015.
- [7] Yun Y., Xia Y., Behdani B. and Smith J.C., "Distributed algorithm for lifetime maximization in a delay-tolerant wireless sensor network with a mobile sink", *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 12, no. 10, pp. 1920-1930, 2012.
- [8] Zhu C., Zhang S., Han G., Jiang J. and Rodrigues J.J. "A Greedy Scanning Data Collection Strategy for Large-Scale Wireless Sensor Networks with a Mobile Sink," *Sensors*, vol. 16, no. 9, p. 1432, 2016.
- [9] Alsaafin A., Khedr A.M. and Al Aghbari Z., "Distributed trajectory design for data gathering using mobile sink in wireless sensor networks," *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, vol. 96, pp. 1-12, 2018.
- [10] Basagni S., Carosi A., Melachrinoudis E., Petrioli C. and Wang Z.M., "Controlled sink mobility for prolonging wireless sensor networks lifetime", *Wireless Networks*, vol. 14, no. 6, pp. 831-858, 2008.
- [11] Khalily-Dermany M. and Nadjafi-Arani M.J., "Itinerary planning for mobile sinks in network-coding-based wireless sensor networks", *Computer Communications*, vol. 111, pp. 1-13, 2017.
- [12] Qadori H.Q., Zulkarnain Z.A., Hanapi Z.M. and Subramaniam S., "Multi-mobile agent itinerary planning algorithms for data gathering in wireless sensor networks: A review paper", *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 13, no. 1, 2017
- [13] Wang J., Zhang Y., Cheng Z. and Zhu X., "EMIP: energy-efficient itinerary planning for multiple mobile agents in wireless sensor network", *Telecommunication Systems*, vol. 62, no. 1, pp. 93-100, 2016.
- [14] Vincze Z., Vida R. and Vidacs A., "Deploying multiple sinks in multi-hop wireless sensor networks", In *IEEE International Conference on Pervasive Services*, pp. 55-63, 2007.
- [15] Khan B.M., Bilal R. and Young R., "Fuzzy-TOPSIS based Cluster Head selection in mobile wireless sensor networks", *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, vol. 5, no. 3, pp. 928-943, 2018.
- [16] Amiri E. and Hooshmand R., "Improved AODV Based on TOPSIS and Fuzzy Algorithms in Vehicular Ad-hoc Networks", *Wireless Personal Communications*, pp. 1-15, 2019.