به کارگیری منطق فازی در انتخاب مناسب گره بعدی برای پیکربندی مسیر با پروتکل LEAP در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

وحید ستاری نائینی و فاطمه موحدی

چکیده: با توجه به این که در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، انتخاب مناسب گره بعدی جهت جلوگیری از حملات و کاهش سطح مصرف انرژی حایز اهمیت است، در این مقاله روشی مبتنی بر منطق فازی برای انتخاب گره گام بعدی با مد نظر قرار دادن وضعیت و انتقال گزارش به گره‌های مختلف ارائه می‌شود. در این روش به صورتی کارامد گره گام بعدی با چهار عامل بر مبنای سیستم منطق فازی انتخاب می‌شود. این چهار عامل، بیان‌کننده چهار پارامتر بهینه‌شده از نظر انرژی، یعنی درجه نزدیکی گره به کوتاه‌ترین مسیر، درجه نزدیکی گره به سرخوشه، نسبت انرژی باقیمانده هر گره و تعداد پیام‌های غلط فیلترشده می‌باشد. روش پیشنهادی با افزایش سطح انرژی و حفظ سطح همسانی از امنیت در مقایسه با پروتکل LEAP همراه است. همچنین این امکان فراهم می‌شود تا با انتخاب مناسب گام بعدی قادر به شناسایی مسیرهای مناسب و امن و جلوگیری از حملات باشیم. مقایسه روش پیشنهادی و روش‌های مرتبط نشان می‌دهد که روش پیشنهادی مصرف انرژی را کاهش چشم‌گیری داده و متعاقب آن طول عمر شبکه را افزایش می‌دهد. همچنین نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با انتخاب مناسب گام بعدی با تلفات بسته کمتری نسبت به روش‌های دیگر مواجه هستیم.

کلیدواژه: **انتخاب گام بعدی، پروتکل LEAP، شبکه حسگر بی‌سیم، کاهش مصرف انرژی، مسیریابی.**

۱- مقدمه

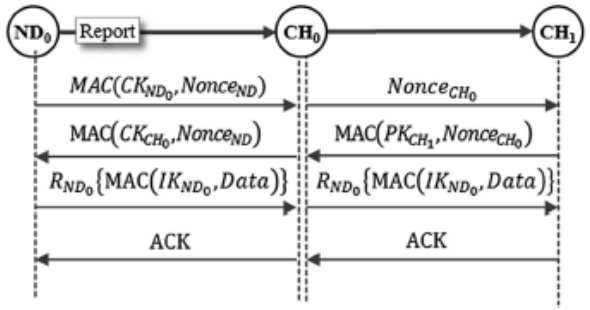
دستاوردها و فناوری جدید در زمینه الکترونیک و مخابرات بی‌سیم، به توانایی طراحی و ساخت حسگرهایی با توان مصرفی پایین، اندازه کوچک، قیمت مناسب و کاربری‌های گوناگون دست یافته است. این حسگرهای کوچک، توانایی انجام فرایندهایی چون دریافت و پردازش اطلاعات مختلف محیطی را دارند که موجب پیدایش ایده‌ای برای ایجاد و گسترش شبکه‌های موسوم به شبکه‌های حسگر بی‌سیم شده‌اند. یک شبکه حسگر، متشکل از تعداد زیادی گره است که در یک محیط به طور گسترده پخش شده و به جمع‌آوری و پردازش اطلاعات می‌پردازند. شبکه‌های حسگر بی‌سیم در کاربردهای زیادی مثل زلزله، پیش‌بینی آب و هوا، نظارت و ردیابی هدف، کشاورزی، نظارت بر رفتار دشمن، موقعیت جغرافیایی، نظارت بر آتش‌سوزی جنگل‌ها و ... استفاده می‌شود.

با توجه به دیدگاه‌های مذکور و اهمیت موضوعات مطرح‌شده، طراحی پروتکل‌های مسیریابی به دسته‌بندی‌های متفاوتی با توجه به نوع کاربری، ابعاد شبکه، موقعیت جغرافیایی، کیفیت سرویس درخواستی و موارد مشابه

این مقاله در تاریخ ۱۱ اسفند ماه ۱۳۹۵ دریافت و در تاریخ ۲۰ مرداد ماه ۱۳۹۶ بازنگری شد.

وحید ستاری نائینی، بخش مهندسی کامپیوتر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، (email: vsnaeini@uk.ac.ir).

فاطمه موحدی، دانشکده مهندسی کامپیوتر، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، (email: neda.movahedi@gmail.com).



شکل ۱: احراز هویت بین دو گره در پروتکل LEAP [۴].

تقسیم‌بندی می‌شوند تا مصرف انرژی را کاهش دهند و ترافیک شبکه را به صورت امن، با کیفیت سرویس دلخواه و کم‌هزینه از مبدأ به مقصد با کمترین زمان ارسال کنند [۱]. به علت کمبود منابع نیروی الکتریکی و مشکلات تعویض باطری در مکان‌های مختلف، قسمت‌های مختلف یک گره حسگر با رویکرد مصرف بهینه انرژی الکتریکی ساخته می‌شوند تا مدت زمان حیات یک شبکه را با در نظر گرفتن مدیریت نیروی الکتریکی، بهینه سازند. در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، بیشتر پروتکل‌های مسیریابی جهت جستجوی مسیری خاص به دیگر گره‌های شبکه و یا ایستگاه مرکزی که پیغام‌های کنترلی را به صورت همه‌پخشی[1] ارسال می‌کنند، متوسل شده‌اند [۲].

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، حسگرها نیاز شدیدی به انرژی و محاسبات دارند چرا که باید به صورت بدون مراقب عمل کنند. گره‌های حسگر می‌توانند از سوی دشمنانی مورد خطر قرار گیرند، همانند حملات فروچاله[2] که به لایه‌های شبکه حمله می‌کنند. حمله فروچاله به گونه‌ای است که اطلاعات جمع‌آوری شده توسط هر گره را به سرقت می‌برد یا راه‌های مسیریابی را تغییر می‌دهد. پروتکل رمزگذاری و احراز هویت محلی‌شده (LEAP)[3] انواع مختلف پیام‌های مبادله‌شده را مشاهده می‌کند. این پروتکل از ۴ نوع کلید که به صورت تصادفی تولید می‌شوند جهت بالابردن امنیت استفاده می‌کند: ۱) کلید *IK* یا کلید منحصر به فرد؛ هر گره یک کلید منحصر به فرد دارد که برای ارتباط با ایستگاه پایه استفاده می‌شود. ۲) کلید *PK* یا کلید دوبه‌دویی؛ کلیدی است مشترک بین هر گره و همسایگان مشترک آن گره که از این کلید برای ارتباط امن بین دو گره استفاده می‌شود. ۳) کلید *CK* یا کلید گروه؛ کلیدی است مشترک بین تمام گره‌هایی که در یک خوشه قرار گرفته‌اند و از آن به طور عمده برای پخش پیام‌های محلی در یک خوشه استفاده می‌شود. ۴) کلید *GK* یا کلید گروه؛ یک کلید مشترک بین تمام گره‌ها و ایستگاه پایه می‌باشد [۳].

1. Broadcast
2. Sinkhole
3. Localized Encryption and Authentication Protocol

شکل ۱ دو مورد احراز هویت را بین یک گره عادی ND_i و سرخوشه CH_j و بین دو سرخوشه CH_j و CH_k نشان می‌دهد. در مورد اول، زمانی که یک رویداد واقعی در یک خوشه رخ می‌دهد ND_i آن رویداد را کشف کرده و گزارشی را از طریق سرخوشه‌های واسطه به ایستگاه پایه اعلام می‌کند. قبل از این که ND_i گزارش را به CH_j ارسال کند، آن دو گره یکدیگر را از طریق کلیدهایشان مورد تأیید قرار می‌دهند. ND_i یک کد احراز هویت پیام (MAC) را که حاوی کلید خوشه‌ای ND_i و یک هدف فعلی است به CH_j انتقال می‌دهد. CH_j کد احراز هویت پیام را با استفاده از کلید خوشه‌ای خود مورد تأیید قرار داده و با استفاده از کد احراز هویت خود، واکنش نشان می‌دهد.

ND_i پس از تأیید اعتبار کد احراز هویت پیام از طریق کلید خوشه‌ای ND_i، گزارشی را تولید کرده که به یک کلید احراز هویت چسبیده که حاوی کلید فردی ND_i و داده‌های مربوط به رویداد بوده و گزارش را به CH_j انتقال می‌دهد. CH_j با یک پیام تصدیق (ACK) به ND_i پاسخ می‌دهد. در مورد دوم، CH_j قبل از ارسال‌کردن گزارشی که از ND_i دریافت شده، یک هدف فعلی را به CH_k انتقال می‌دهد. CH_k پس از دریافت هدف فعلی با یک کد احراز هویت که حاوی کلید جفتی CH_k بوده و هدف فعلی، پاسخ می‌دهد. CH_j سپس کلید جفتی CH_k را با استفاده از کلید جفتی‌اش مورد تأیید قرار می‌دهد. CH_j پس از پایان تأیید اعتبار، گزارش را به CH_k انتقال می‌دهد. زمانی که CH_k گزارش را دریافت می‌کند یک پیام تصدیق ارسال می‌شود.

استفاده از منطق فازی در کاربردهای مهندسی به جهت کارایی این روش در بسیاری از پژوهش‌ها مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است [۵] تا [۸]. در این پژوهش نیز از این روش برای انتخاب مناسب گروه بعدی جهت برطرف‌کردن مشکلات پروتکل LEAP بر اساس پارامترهای مختلف بهره‌گیری می‌شود.

این پژوهش به هفت بخش تقسیم شده است. در بخش دوم، صورت مسئله بیان می‌شود و در بخش سوم، تحقیقات مرتبط با موضوع مورد بررسی قرار می‌گیرند. در بخش چهارم، روش پیشنهادی معرفی شده و در بخش پنجم، شبیه‌سازی روش پیشنهادی همراه با مقایسه آن با دیگر روش‌ها انجام می‌گردد. در بخش ششم، کارهای آتی مرور می‌شوند و در نهایت در بخش هفتم مقاله نتیجه‌گیری می‌شود.

۲- شرح مسأله

پروتکل LEAP در ارسال گزارش‌های خود به دیگر گره‌های و ایستگاه پایه دارای نقطه ضعف‌هایی می‌باشد که به اختصار بیان می‌شوند [۹]:

- هر حسگر برای ارسال کلیدها به ایستگاه پایه یا دیگر حسگرها ممکن است از مسیرهای امنی استفاده نکند.
- مسیرهای اولیه تعیین‌شده برای عبور کلیدها یا گزارش تغییر نمی‌کند و تمام بسته‌ها از چند مسیر خاص باید عبور کنند و نهایتاً یک سری از گره‌ها زودتر انرژی خود را از دست می‌دهند.
- مسیرهایی که ترافیک بالایی دارند امنیت خود را از دست می‌دهند.

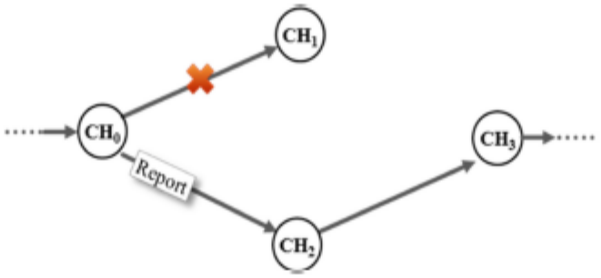
در این مقاله با بهره‌گیری از منطق فازی، گره مناسب بعدی برای ارسال امن گزارش در پروتکل LEAP انتخاب می‌شود. یک گره منبع قبل از انتقال یک گزارش، با استفاده از سیستم منطق فازی، وضعیت گره گام بعدی را مورد بررسی قرار داده و سپس گزارش را به آن ارسال می‌کند. وضعیت گره گام بعدی به کمک چهار عامل ارزیابی می‌شود. اگر وضعیت گره گام بعدی خوب نباشد، گره منبع به جستجوی یک گره جدید در دامنه موجود پرداخته و گزارش را به این گره جدید انتقال می‌دهد. در صورتی که ۲ گره شانس یکسانی برای انتخاب داشته باشند، یک گره به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. باطری هر حسگر یکی از قسمت‌های اصلی است. با اتمام باطری کل شبکه دچار اختلال می‌شود و بنابراین صرفه‌جویی در مصرف باطری و بالابردن امنیت از اهداف اصلی این تحقیق می‌باشد.

۳- روش‌های موجود

در [۴] روش کاهش مصرف انرژی مبتنی بر پروتکل LEAP برای بازپیکربندی شبکه ارائه شده است. در [۸] روشی وفقی به کمک منطق فازی برای خوشه‌بندی گره‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است. در [۱۰] استفاده از یک درخت پوشا پیشنهاد شده تا خوشه‌های با خواص مناسب ایجاد گردد. در این الگوریتم انرژی به عنوان پارامتر اصلی مورد تأکید قرار نمی‌گیرد. در [۱۱] یک الگوریتم خوشه‌بندی غیر فعال برای استفاده از مسیریابی‌های متفاوت در شبکه‌های حسگر پیشنهاد شده اما به امنیت توجهی نشده است. در [۱۲] و [۱۳] از یک پروتکل توزیع‌شده بهره‌گیری گردیده است که با استفاده از خوشه‌بندی، عمر شبکه را افزایش می‌دهد. مؤلفان در [۱۴] یک ساختار سلسله‌مراتبی چندسطحی را پیشنهاد کرده‌اند که سرخوشه‌ها بر اساس درجه و انرژی باقیمانده‌شان انتخاب می‌شوند. در [۱۵] پروتکل HEED مورد بحث قرار گرفته که این پروتکل توزیع‌شده، مستقل از نحوه توزیع گره‌ها بر اساس مقدار انرژی باقیمانده، سرخوشه‌ها را انتخاب می‌نماید. در این پروتکل یک پارامتر دوم نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد که درجه گره و یا نزدیکی به همسایه است.

در [۱۶] یک معماری مسیریابی سلسله‌مراتبی بر پایه مدل سه‌لایه‌ای ارائه شده که در آن خوشه‌ها بر اساس عامل‌های زیادی از قبیل دامنه ارتباطی، تعداد و نوع گره‌های حسگر و مکان جغرافیایی ایجاد می‌گردند. در [۱۷] و [۱۸] چندین پروتکل مسیریابی برای بهبود اثربخشی انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده که لازم به ذکر است پروتکل‌های مسیریابی ذکرشده در این مراجع امنیت بالایی برای ارتباط با شبکه گیرنده بی‌سیم ایجاد نمی‌کنند و همچنین دشمن نیز می‌تواند به گره‌ها حمله و ارتباط آنها را قطع کند که در نتیجه فروچاله ایجاد می‌شود. در [۱۹] و [۲۰] بسته‌های جعلی می‌توانند به تمام گره‌ها ارسال شوند و با به خطر انداختن گره‌ها و تغییر جهت مسیریابی آنها منجر به سرقت اطلاعات با آشکارسازی کلیدهای حسگرها شوند. در [۲۰] روشی برای انتخاب گام بعدی با استفاده از مکانیسم رأی‌گیری بر مبنای منطق فازی (ENSP) ارائه شده است. در [۲۱] تا [۲۳] پروتکل‌های مدیریت کلید بر پایه کلید مشترک برای حل این مشکل پیشنهاد شده است. در [۲۴] برخی تحقیقات روی نحوه فیلترکردن داده‌های جعلی تزریق‌شده در شبکه‌های بی‌سیم انجام شده است.

در [۲۳] روشی به نام FL-LEACH مطرح شده که از یک سیستم فازی با سه ورودی سطح باتری، چگالی گره و فاصله از ایستگاه پایه برای انتخاب سرخوشه‌ها استفاده می‌کند و این روش با فرض این که مختصات شبکه موجود است معرفی شده است. این روش متمرکز است و بنابراین برای محیط‌هایی که نیاز به پردازش بلادرنگ دارند مناسب نیست. همچنین انرژی زیادی برای ارسال موقعیت گره‌ها مثل انرژی باقیمانده برای ایستگاه پایه لازم است. از طرفی در این روش‌ها فرض می‌شود که مختصات شبکه در دسترس است. برای این مسئله، گره‌ها باید به سخت‌افزار اضافی مثل سیستم موقعیت‌یابی جهانی (GPS) مجهز شوند که این راه در همه محیط‌ها امکان‌پذیر نیست. روشی که در [۲۵] ارائه



شکل ۲: انتخاب گره گام بعدی [۴].

شده یک روش فازی برای انتخاب سرخوشه‌هاست. این روش متمرکز است و شبکه از هماهنگی گره‌ها آگاه است. تصمیم انتخاب یک گره به عنوان سرخوشه توسط ایستگاه پایه انجام می‌شود. این روش روی سه متغیر تکیه دارد: باقیمانده انرژی گره، تمرکز و مرکزیت گره تصمیم‌گیرنده و سرخوشه‌بودن یک گره.

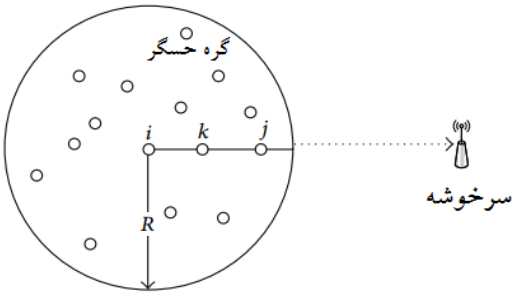
ما در این مقاله روشی را بر مبنای قوانین فازی به منظور افزایش ذخیره‌سازی توان در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مبتنی بر پروتکل LEAP برای انتخاب گره گام بعدی و انتقال اطلاعات در راستای فرایند مسیریابی ارائه می‌کنیم. در روش پیشنهادی، هر گره برای مصرف توان از یک پردازنده فازی استفاده می‌کند. با استفاده از روش سلسله‌مراتبی فازی به ارزیابی الگوریتم‌های منطق فازی می‌پردازیم.

٤- روش پیشنهادی

شکل ۲ انتخاب کارامد گره گام بعدی بین CH_1 و CH_2 را نشان می‌دهد. همان طور که در این تصویر نشان داده شده، یک مسیر بین CH_0 و CH_1 ایجاد می‌شود. CH_0 قبل از انتقال یک گزارش، یک پیام هدف فعلی را برای بررسی وضعیت CH_1 انتقال می‌دهد. CH_1 از یک سیستم مبتنی بر قاعده فازی با چهار عامل آن (یعنی درجه نزدیکی گره به کوتاه‌ترین مسیر، درجه نزدیکی گره به سرخوشه، مقدار انرژی باقیمانده هر گره و تعداد پیام غلط فیلترشده) استفاده کرده تا یک خروجی از سیستم را به دست آورد. اگر وضعیت CH_1 خوب نباشد، CH_0 به جستجوی یک گره جدید در دامنه خود می‌پردازد و پس از به دست آوردن یک خروجی از CH_2، این گره را برای گره گام بعدی انتخاب کرده و گزارش را به آن انتقال می‌دهد.

در این مقاله، یک شبکه حسگر بی‌سیم به صورتی فرض شده که متشکل از یک ایستگاه پایه و تعداد زیادی از گره‌های حسگر باشد. در یک خوشه گره‌ای قدرتمندتر از نظر میزان انرژی به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. سرخوشه‌ها یک مسیر به سوی ایستگاه پایه را بر مبنای یک مدل خوشه کشف می‌کنند. زمانی که یک سیستم مبتنی بر قاعده فازی محاسبه شده، اندازه حافظه سرخوشه مد نظر قرار نمی‌گیرد چرا که منابع سخت‌افزاری آن بیشتر از گره عادی می‌باشد. این فرض هم وجود دارد که گرهی که در خطر قرار گرفته می‌تواند یک پیام انتشار اشتباه را به همسایگانش در درون یک خوشه وارد کند.

مصرف انرژی هر گره حسگر وابسته به ۳ عامل است: انرژی حسگری، انرژی ارتباطی و انرژی فراوری اطلاعات. حس‌کردن و پردازش داده‌ها در مقایسه با ارتباط، نیاز بسیار کمتری به انرژی داشته و بر این اساس ما تنها مصرف انرژی ارتباطی را مد نظر قرار داده‌ایم. ما از مدل مشابه به مدل مصرف انرژی استفاده کرده که در [۲۶] از آن برای سخت‌افزار ارتباطی بی‌سیم استفاده کرده است. اگر که گره یک بسته $l-bit$ را در مسافت d ارسال کند، انرژی مصرف‌شده به صورت زیر می‌باشد



شکل ۳: انتقال داده‌ها در منطقه تک‌گامی [۲۶].

$$E_{Tx}(l,d) = lE_{elec} + l\varepsilon_{amp}d^{\alpha} \quad (۱)$$

در اینجا E_{elec} به انرژی بر بیت مصرف‌شده به واسطه الکترون‌های انتقال‌دهنده دلالت داشته، ε_{amp} بیانگر انرژی پخش‌شده در تقویت‌کننده انتقال بوده و α نشان‌دهنده نمای از دست دادن مسیر می‌باشد. مقدار α برای مدل کانال فضای باز ۲ و برای مدل کانال پیداکردن چندمسیره، ۴ است.

در زمان دریافت بسته با $l-bit$ مصرف انرژی به صورت زیر محاسبه می‌شود [۲۶]

$$E_{Rx}(l) = lE_{elec} \quad (۲)$$

٤-۱ پارامترهای مورد استفاده در سیستم فازی پیشنهادی

٤-۱-۱ درجه نزدیکی گره به کوتاه‌ترین مسیر

این پارامتر بر حسب مدل مصرف انرژی گره‌های حسگر، مصرف انرژی را برای انتقال داده‌ها بین یک گره منبع تا مقصد اندازه‌گیری می‌کند. اگر همه گره‌های رله از گره منبع داده‌ها به چاهک بر روی یک خط قرار داشته باشند، مصرف کلی انرژی برای انتقال داده‌ها در حالت حداقلی قرار خواهد داشت. بنابراین درجه نزدیکی گره به کوتاه‌ترین مسیر (DCSP)[1] باید به عنوان یکی از پارامترهای بهینه‌شده انرژی مورد استفاده قرار گیرد که به صورت زیر محاسبه می‌شود [۲۶]

$$DCSP(k) = \frac{d(i,\sin k)}{d(i,k)+d(k,\sin k)} \quad (۳)$$

که در (۳)، d فاصله دو مکان، i به گره منبع و k به گره ارسال‌کننده آن دلالت دارد که فاصله‌اش تا چاهک کمتر از i می‌باشد. درجه نزدیکی گره به نزدیک‌ترین مسیر k، $DCSP(k)$ زمانی به حالت حداکثری $(DCSP(k)=۱)$ رسیده که k روی خط از i به چاهک قرار می‌گیرد.

٤-۱-۲ درجه نزدیکی گره به سرخوشه

در فرایند انتقال داده‌ها دو روش ارسال‌کردن داده‌ها یعنی تک‌گامی و چندگامی می‌تواند در درون دامنه ارتباطی ارسال‌کننده کنونی استفاده شود. اگر هر حسگر در یک مسیر ارسال‌کردن داده‌ها بتواند از حداکثر یکی از همسایگان تک‌گامی‌اش برای ارسال‌کردن یک بسته داده به سمت سرخوشه استفاده کند، تک‌گامی نامیده می‌شود. در ارسال داده‌ها به سمت مقصد اگر از چندین گره پیش‌برنده استفاده شود چندگامی نامیده می‌شود. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد، حسگر i می‌تواند به صورت مستقیم داده‌ها را از طریق j ارسال کرده (تک‌گامی) یا این کار را از طریق یک گره رله k (چندگامی) ارسال نماید.

1. Degree of Closeness of Node to the Shortest Path

مصرف انرژی برای ارسال داده‌ها از حسگر i به j بر اساس تابع دو طرح تک‌گامی و چندگامی برای مدل فضای باز به کمک (۴) بیان می‌شود

$$E_{single-hop} = ۲E_{elec} + l\varepsilon_{amp} d^{۲}(ij)$$
$$E_{multi-hop} = ۲E_{elec} + l\varepsilon_{amp} (d^{۲}(i,k) + d^{۲}(k,j)) \quad (۴)$$

مصرف انرژی مورد نیاز برای پیش‌بردن داده‌ها از حسگر i به j به ترتیب از طریق فرایندهای پیش‌برنده تک‌گامی و چندگامی است. اگر حسگر k روی قسمت (i,j) خط قرار گرفته باشد، $d(i,j) = d(i,k) + d(k,j)$. اگر که فرایند پیش‌برنده چندگامی با دامنه کوتاه در مقایسه با تک‌گامی، کارامدتر بوده پس حالت $E_{single-hop} > E_{multi-hop}$ استنتاج می‌شود. از (۴) می‌توانیم حالت زیر را استنتاج کنیم

$$d(i,k) \times d(k,j) > \frac{E_{elec}}{\varepsilon_{amp}} \quad (۵)$$

اگر حسگر k بر روی قسمت خط (i,j) قرار نداشته باشد می‌توانیم حالت زیر را استنتاج کنیم

$$d^{۲}(i,j) - d^{۲}(i,k) - d^{۲}(k,j) > \frac{۲E_{elec}}{\varepsilon_{amp}} \quad (۶)$$

بررسی این که (۵) و (۶) به کار گرفته شوند کار آسانی است و بر این اساس، برنامه ارسال‌کردن تک‌گامی در میان دامنه ارتباطی تک‌گامی حسگر منبع یا یک ارسال‌کننده جاری، از نظر انرژی کارامدتر می‌باشد. به منظور ذخیره انرژی، گره همسایه که نزدیک‌تر به چاهک بوده باید به عنوان گام بعدی انتخاب شود. تعریف درجه نزدیکی گره به سرخوشه (DCS)[۱] به صورت زیر می‌باشد

$$DCS = \frac{\frac{۱}{d(k,CH)}}{\sum_{j \in FN(i)} \frac{۱}{d(j,CH)}} \quad (۷)$$

پارامتر $d(k,CH)$ نشان‌دهنده فاصله از گره k تا چاهک بوده و $FN(i)$ به مجموعه همسایه‌های ارسال‌کننده گره منبع i دلالت دارد.

٤-١-٣ نسبت انرژی باقیمانده هر گره

الگوریتم‌های مسیریابی پویای موجود معمولاً بر اساس انرژی باقیمانده هر حسگر، مسیر خود را برای انتخاب گام بعدی تغییر می‌دهند. قبل از ارسال‌کردن گزارش مقدار انرژی گره‌ها سنجیده می‌شود. ما در این مقاله برای ارسال اطلاعات از پیش‌بینی مقدار انرژی باقیمانده هر گره در زمان انتخاب مسیر استفاده می‌کنیم و در نهایت گرهی به عنوان گام بعدی انتخاب می‌شود که بالاترین مقدار انرژی را داشته باشد.

ناترازبودن انرژی (EUB)[۲] مجموعه‌ای از حسگرها با (۸) بیان می‌شود [۲۶]

$$EUB = ۱ - [\frac{۱}{n} \sum_{i \in A} (\frac{E(i)}{\bar{E}})^{۱-\varepsilon}]^{\frac{۱}{۱-\varepsilon}} \quad (۸)$$

که در آن $E(i)$ انرژی باقیمانده حسگر i، $\bar{E}$ میانگین انرژی باقیمانده و ε شاخص مغایرت نامساوی‌بودن است که دامنه مقادیر آن از صفر تا بی‌نهایت می‌باشد. مقادیر ε که به صورت نوعی مورد استفاده قرار گرفته ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ می‌باشند.

برای ارزیابی گام جایگزین بعدی، حسگر i، میزان انرژی باقیمانده انرژی (EUB) بین خود و همسایگان ارسال‌کننده گزارش را محاسبه می‌کند و سپس همسایگان بعدی را نسبت به میزان انرژی آنها جایگزین می‌نماید.

با فرض این که گره ارسال‌کننده k به عنوان گام بعدی انتخاب شده و داده‌ها به آن انتقال یافته‌اند، انرژی مورد انتظار حسگر i به صورت زیر می‌باشد [۲۶]

$$DEB(k) = E^{ik}(k) = E(k) - E_{Rx}(l) - E_{Tx}(l.R) \quad (۹)$$

پس از آن که حسگر i، ناترازبودن انرژی را برای هر همسایه ارسال‌کننده محاسبه می‌کند، درجه تراز انرژی (DEB)[۳] برای انتخاب گره k به عنوان گام بعدی بر اساس (۱۰) محاسبه می‌شود [۲۶]

$$DEB(k) = \frac{\frac{۱}{EUB^{k}}}{\sum_{j \in FN(i)} \frac{۱}{EUB^{ij}}} \quad (۱۰)$$

٤-١-٤ شمارش پیام پالایش‌شده اشتباه

این عامل ارائه‌دهنده وضعیت امنیت شبکه در هر گره می‌باشد. اگر یک سرخوشه تعداد زیادی از پیام‌های اشتباه برای حمله فروچاله یا حمله حذف بسته را دریافت کند، از خوشه‌ای که مورد حمله قرار گرفته برای حفظ انتقال ایمن، اجتناب می‌شود. حفظ سطح امنیت به واسطه تعداد پیام‌های انتشار اشتباه پالایش شده، تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

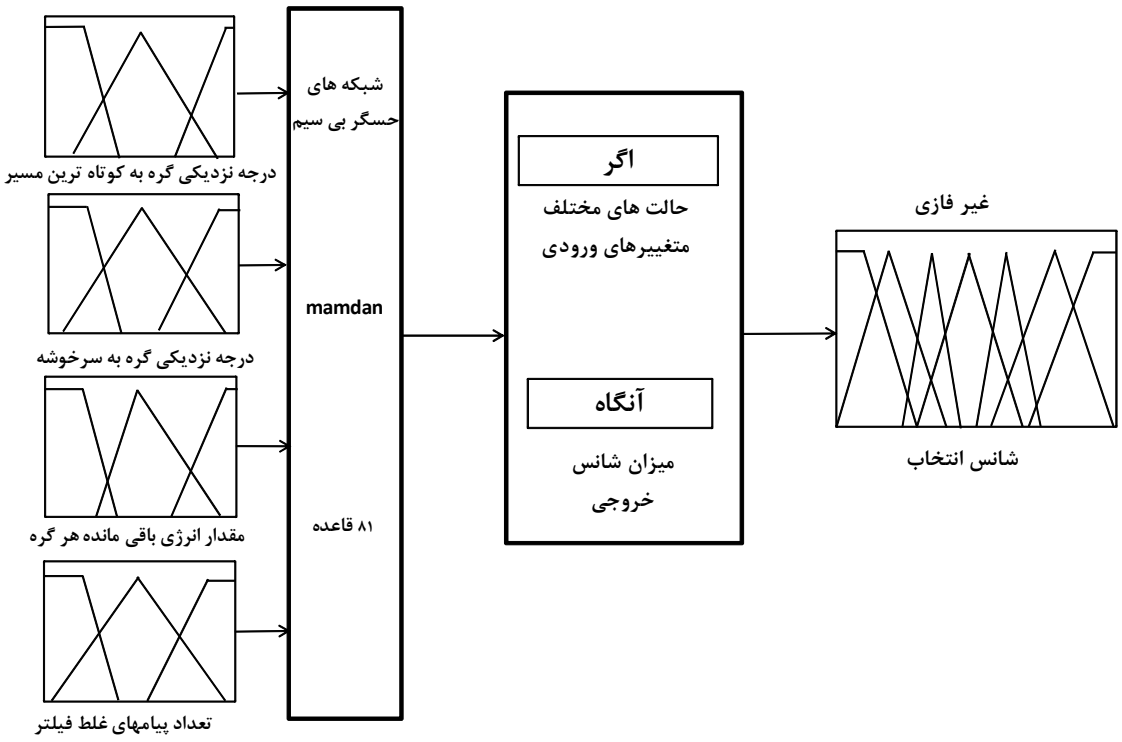
٤-٢ انتخاب گره بعدی مبتنی بر منطق فازی

منطق فازی در این مقاله به عنوان اجرای اصلی استدلال هشیارانه به کار گرفته شده است. یک سیستم فازی متشکل از سه قسمت می‌باشد: فازی‌کننده، موتور استنتاج فازی و غیر فازی‌کننده. فازی‌کننده، هر مقدار ورودی شکننده را به مجموعه‌های مشابه فازی نگاشت کرده و بر این اساس آن را به یک مقدار حقیقی یا درجه‌ای از عضویت برای هر مجموعه فازی تبدیل می‌کند. مقادیر فازی‌شده با موتور استنتاج فراوری گردیده که متشکل از یک قاعده پایه و روش‌های مختلفی برای استنتاج قواعد است. قاعده پایه در واقع مجموعه‌ای از قواعد اگر- آنگاه [۴] بوده که متغیرهای ورودی فازی را با متغیرهای خروجی فازی با استفاده از متغیرهای زبان‌شناختی تنظیم نموده که هر کدام از آنها توسط یک مجموعه فازی توصیف گردیده است. غیر فازی‌کننده، عمل غیر فازی‌کنندگی را بر روی فضای راه حل فازی اجرا می‌کند.

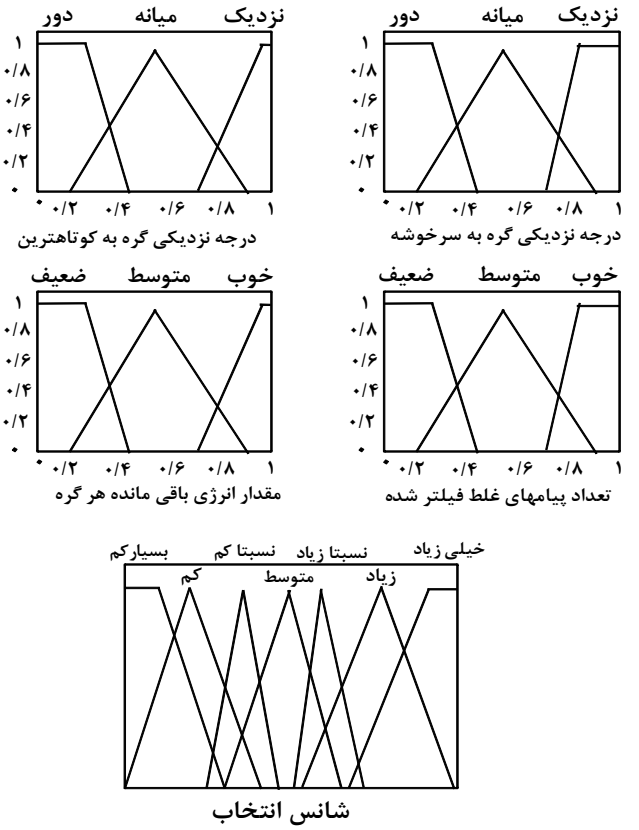
هدف مسیریابی مبتنی بر منطق فازی، تعیین مسیریابی بهینه‌شده انرژی بر مبنای پارامترهایی بوده که قبلاً تعریف گردیده و طی آن طول عمر شبکه به حداکثر می‌رسد [۷]. قاعده پایه فازی به نحوی تنظیم شده تا نه تنها مصرف انرژی را به حداقل رسانیده، بلکه ترافیک داده‌ها در میان گره‌های حسگر را به صورت مؤثری متوازن نماید.

تابع عضویت فازی می‌تواند اشکال مختلفی داشته باشد. از آنجایی که تأکید اصلی این پژوهش بر امکان‌سنجی روش پیشنهادی در پیداکردن گره بعدی است در این مقاله از تابع عضویت ذوزنقه‌ای استفاده شده و بررسی دیگر توابع عضویت به کارهای آینده موکول می‌شود. از طرفی جهت یکسان‌بودن شرایط شبیه‌سازی از تابع ذوزنقه‌ای استفاده شده است.

1. Degree of Closeness of Node to Sink
2. Energy Unbalancing
3. Degree of Energy Balance
4. If-Then



شکل ۴: مدل سیستم فازی پیشنهادی.



شکل ۵: توابع متغیرهای ورودی و خروجی عضویت فازی.

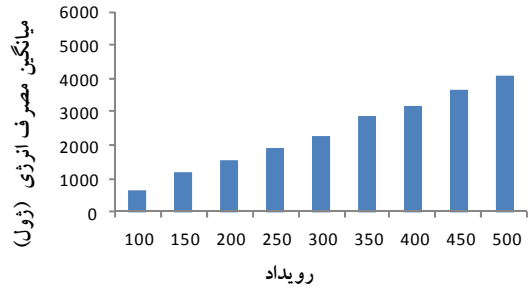
شکل ۴ نشان‌دهنده مدل سیستم فازی پیشنهادی می‌باشد. الگوی mamdani برای شناسایی استنتاج منطق فازی مورد استفاده قرار گرفته است. متغیرهای ورودی فازی، ۴ پارامتر پیشنهادی می‌باشند. دو متغیر اول منعکس‌کننده مقیاس کارامدی انرژی برای انتخاب یک گره به عنوان گام بعدی بوده، متغیر سوم نشان‌دهنده مقیاس انرژی باقیمانده گره‌ها و متغیر چهارم بیان‌کننده درجه مقابله با حملات احتمالی برای تصمیم‌گیری مسیریابی می‌باشد.

شکل ۵ نشان‌دهنده جزئیات متغیرهای ورودی و خروجی فازی است. متغیرهای زبان‌شناختی که برای نشان‌دادن درجه نزدیکی گره به نزدیک‌ترین مسیر و دامنه نزدیکی گره به سرخوشه مورد استفاده قرار گرفته به ترتیب به سه سطح تقسیم شده‌اند: دور، میانه و نزدیک که در اینجا سه سطح هم به ترتیب برای درجه توازن انرژی وجود دارد: ضعیف، میانه و خوب و سه سطح هم به ترتیب برای تعداد پیام‌های غلط فیلترشده وجود دارد: کم، متوسط و زیاد.

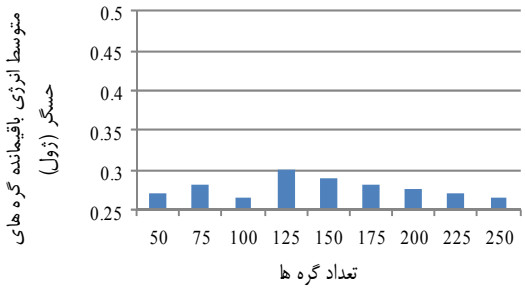
متغیر خروجی فازی که بیانگر عملیات غیر فازی‌سازی[1] برای منطق فازی می‌باشد با هدف نشان‌دادن شانس انتخاب گره گام بعدی به هفت سطح تقسیم شده که عبارتند از بسیار کم، کم، نسبتاً کم، متوسط، نسبتاً زیاد، زیاد و خیلی زیاد (جدول ۱). برخی قوانین پایه فازی سیستم پیشنهادی در این جدول خلاصه شده‌اند. به عنوان مثال اگر درجه تراز انرژی خوب بوده، درجه نزدیکی گره به سرخوشه، نزدیک بوده و دامنه نزدیکی گره به سرخوشه نیز نزدیک است و شانس این گره برای انتخاب‌شدن به عنوان گره بعدی خیلی زیاد می‌باشد. همسایگان ارسال‌کننده حسگر منبع یا یک ارسال‌کننده جاری بر مبنای شانس‌ها مورد مقایسه قرار گرفته و گرهی با حداکثر شانس به عنوان ارسال‌کننده بعدی انتخاب می‌شود.

در این جدول که ۸۱ شانس خروجی را بیان می‌کند اگر سطح انرژی باقیمانده کافی بوده، فاصله کوتاه بوده و تهدید خطر هم کم است، پس این گره کاندیدی به عنوان گره بعدی می‌باشد. این مورد بر این مسئله دلالت داشته که در اینجا یک وضعیت عادی برای انتقال و ارسال‌کردن یک گزارش وجود دارد. در مقابل اگر سطح انرژی باقیمانده ناکافی بوده، فاصله طولانی و تهدید خطر هم پایین باشد، پس گره بعدی در پی جستجوی یکی از گره‌های همسایگانش است چرا که وضعیت آن به

1. Defuzzification



شکل ۶: میانگین مصرف انرژی بر اساس رویدادهای مختلف در روش پیشنهادی.



شکل ۷: میانگین مصرف انرژی بر اساس تعداد گره‌های مختلف در روش پیشنهادی.

جدول ۱: قوانین پایه فازی پیشنهادی.

شماره قانون	اگر				آنگاه
	درجه نزدیکی گره به کوتاه‌ترین مسیر	درجه نزدیکی گره به سرخوشه	مقدار انرژی باقیمانده	تعداد پیام‌های غلط فیلترشده	شانس انتخاب
۱	دور	دور	ضعیف	کم	خیلی کم
۳	دور	دور	ضعیف	زیاد	کم
۱۳	دور	میانه	میانه	کم	نسبتاً کم
۱۵	دور	میانه	میانه	زیاد	متوسط
۳۶	میانه	دور	خوب	زیاد	نسبتاً خوب
۷۹	نزدیک	نزدیک	خوب	کم	خوب
۸۱	نزدیک	نزدیک	خوب	زیاد	خیلی خوب

جدول ۲: پارامترهای استفاده‌شده در پیاده‌سازی.

پارامتر	R	E_{elec}	ε_{amp}
مقدار	۳۰ m	۵۰ nj/bit	۱۰ pj/bit/m^2

صورت عدم استفاده می‌باشد. این مورد بر این دلالت داشته که یک وضعیت غیر عادی برای ارتباطات بی‌سیم وجود دارد. یک گره منبع به این نیاز داشته تا به صورتی کارامد گره بعدی را برای کاهش مصرف انرژی انتخاب کند. بر این اساس، بررسی وضعیت گره بعدی برای ارتقای کارامدی انرژی داری اهمیت می‌باشد و همین وضعیت برای سایر حالات نیز وجود دارد.

۵- شبیه‌سازی و نتایج مقایسه‌ای

در این بخش به ارزیابی روش پیشنهادی بر اساس پارامترهای مختلف ورودی بر اساس مقادیر مختلف برای این پارامترها می‌پردازیم. مهم‌ترین معیار بررسی در این مقاله میانگین مصرف انرژی و به تبع آن میانگین طول عمر شبکه می‌باشد که در این بخش بر اساس تعداد رویدادهای متفاوت و همچنین تغییر در تعداد گره‌های شبکه به بررسی آن می‌پردازیم. مقادیر عددی پارامترها در شبیه‌سازی در جدول ۲ خلاصه شده‌اند.

۵-۱ بررسی مصرف انرژی

ارتباط رادیویی، پرمصرف‌ترین عملیات می‌باشد و هزینه‌ای که پروتکل بهینه‌سازی مسیر مبتنی بر گروه (خوشه) و متعادل‌نمودن بار بر روی شبکه تحمیل می‌کند بر حسب تعداد پیام‌های ارسالی در نظر گرفته می‌شود. این مقیاس همچنین یک نشانه از مصرف پهنای باند را در کنار مصرف انرژی نشان می‌دهد. نحوه محاسبه این معیار بدین صورت است که فاصله بین شروع عملیات شبکه (زمان صفر) را تا زمانی که انرژی باقیمانده اولین گره حسگر به صفر برسد برابر با طول عمر شبکه در نظر می‌گیریم.

اولین مقایسه که در شکل ۶ نشان داده شده است بررسی میزان انرژی مصرفی بر حسب رویدادهای مختلف می‌باشد. این شکل میانگین مصرف انرژی کل شبکه حسگر را به ازای هر رویداد نشان می‌دهد.

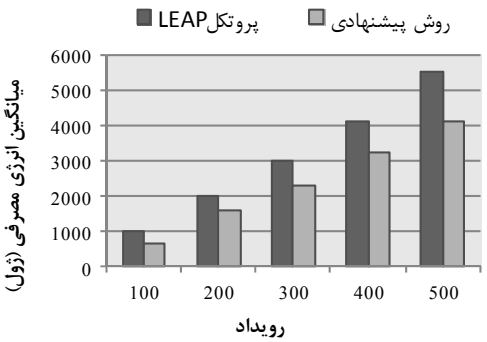
همان طور که نتایج نشان می‌دهد با افزایش تعداد رویدادها، انرژی مصرفی افزایش می‌یابد. نکته مهمی که باید به آن توجه داشت این است که با رشد تعداد رویدادها، میانگین مصرف انرژی به صورت خطی و تقریباً متوازن با افزایش تعداد رویدادها افزایش پیدا می‌کند که این امر مقیاس‌پذیری و کیفیت بالای روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. بر این اساس روش پیشنهادی منابع انرژی را از طریق انتخاب کارامد گره گام بعدی، ذخیره نموده و طول عمر شبکه حسگر را افزایش می‌دهد.

همچنین عملکرد روش پیشنهادی بر اساس میزان انرژی باقیمانده بر حسب ژول و بر اساس تعداد گره‌های متفاوت در نظر گرفته شده که شکل ۷ این مقایسه را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل آمده با افزایش تعداد گره‌ها و متعاقب آن افزایش نقل و انتقالات بسته‌های داده در شبکه، انرژی باقیمانده تنها اندکی کاهش یافته که این امر کارایی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که این روش به صورتی کارامد گره گام بعدی را برای ارتقای انرژی بر مبنای سیستم منطق فازی انتخاب می‌کند. یک گره منبع قبل از ارسال‌کردن یک گزارش، در رابطه با وضعیت گره گام بعدی دست به بررسی می‌زند و در نهایت منجر به صرفه‌جویی یا کاهش انرژی مصرفی و افزایش طول عمر شبکه می‌گردد.

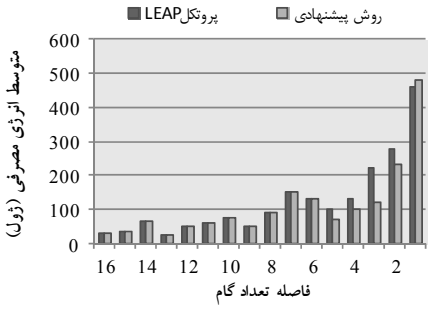
۵-۲ ارزیابی روش پیشنهادی در مقایسه با پروتکل پایه LEAP

شکل ۸ میانگین مصرف انرژی کل شبکه حسگر به ازای هر رویداد را نشان می‌دهد. مصرف انرژی پروتکل LEAP و روش پیشنهادی برای ۱۰۰ و ۲۰۰ رویدادی که ایجاد شده تقریباً مساوی هستند.

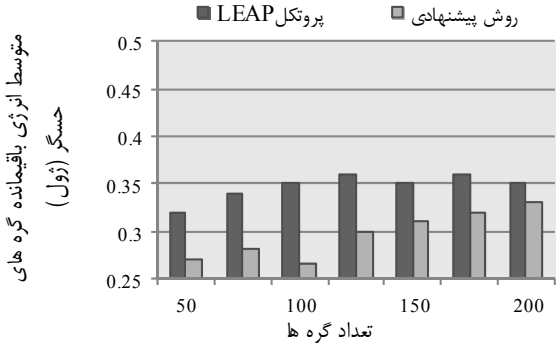
یک شکاف بین این دو روش از زمانی ایجاد شده که ۳۰۰ رویداد اتفاق افتاده است. زمانی که ۵۰۰ رویداد اتفاق بیفتد، پروتکل LEAP و روش پیشنهادی به ترتیب ۵/۳۰۰ و ۵/۵۰۰ ژول انرژی مصرف کرده‌اند. روش پیشنهادی در مقایسه با پروتکل LEAP، ذخیره انرژی را تا حدود ۵ درصد



شکل ۸: مقایسه میانگین مصارف انرژی با LEAP.



شکل ۹: میزان مصرف انرژی بر اساس تعداد گام‌های مختلف.



شکل ۱۰: میزان مصرف انرژی بر اساس تعداد گره‌ها با پروتکل پایه LEAP.

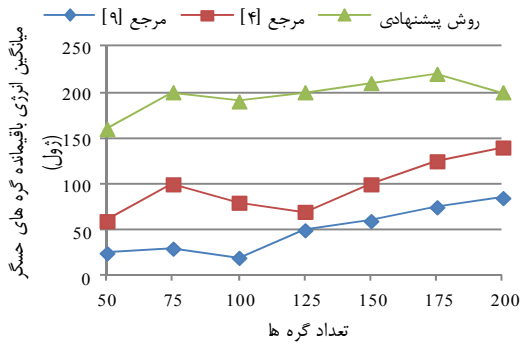
بهبود می‌بخشد. بر این اساس روش پیشنهادی، منابع انرژی را از طریق انتخاب کارامد گره گام بعدی، ذخیره نموده و طول عمر شبکه حسگر را افزایش می‌دهد.

در شکل ۹ میزان مصرف انرژی بر اساس تعداد گام‌های مختلف بر اساس روش پیشنهادی مبتنی بر منطق فازی نشان داده شده است. در این مقایسه منظور از تعداد گام‌ها، تعداد گره‌های بین منبع تا مقصد می‌باشد که هرچه تعداد گره‌های بیشتری قرار داشته باشد، مصرف انرژی کمتر می‌شود که این امر به علت انتخاب مناسب گره بعدی بوده است.

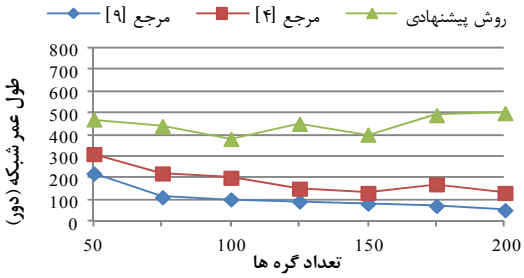
در شکل ۱۰ متوسط مصرف انرژی در مقایسه با پروتکل پایه LEAP برای تعداد گام‌های بین ۲ تا ۱۶ گام آمده است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با استفاده از منطق فازی ۴متغیره به خوبی قادر به انتخاب گام بعدی برای ارسال اطلاعات می‌باشد که این امر سبب می‌شود روش پیشنهادی انرژی کمتری نسبت به پروتکل LEAP مصرف کند.

۵-۳ مقایسه با سایر روش‌ها

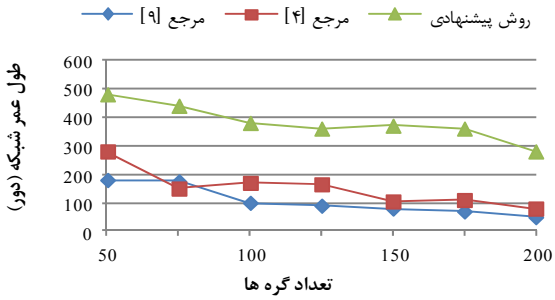
در این قسمت روش پیشنهادی را با [۴] و [۹] مورد ارزیابی قرار می‌دهیم. جهت ارائه نتایج مورد اعتماد و برای این که شبیه‌سازی‌ها در شرایط یکسان و همسو با کارهای تحقیقاتی مرتبط باشند، نتایج شبیه‌سازی با این دو مرجع مقایسه شده‌اند.



شکل ۱۱: نمودار طول عمر شبکه طبق الگوی تولید داده یکنواخت.



شکل ۱۲: نمودار طول عمر شبکه طبق الگوی تولید داده تصادفی.



شکل ۱۳: نمودار طول عمر شبکه طبق الگوی تولید داده یکنواخت.

شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ ارائه‌دهنده طول عمر شبکه تحت الگوهای مختلف تولید داده‌ها می‌باشند. الگوی تولید داده‌ها شامل یکپارچه، تصادفی و محلی بوده و این در شرایطی است که تعداد حسگرها از ۵۰ تا ۲۰۰ عدد افزایش پیدا می‌کند.

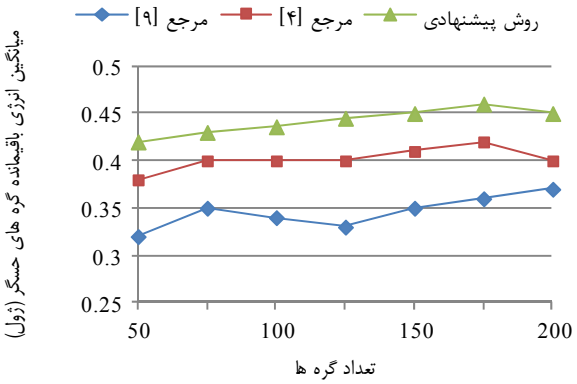
بسیاری از تحقیقات پیشین این مطلب را فرض کرده‌اند که هر حسگر باید داده‌ها را در هر دور به چاهک ارسال کند. بر این اساس، همه حسگرها دارای نرخ تولید داده‌های واحدی می‌باشند. در این مقاله سه الگوی تولید داده‌ها مد نظر قرار گرفته که به صورت زیر می‌باشند:

۱) **تولید واحد داده‌ها:** هر حسگر یک بسته داده را به چاهک در هر دور ارسال می‌کند.

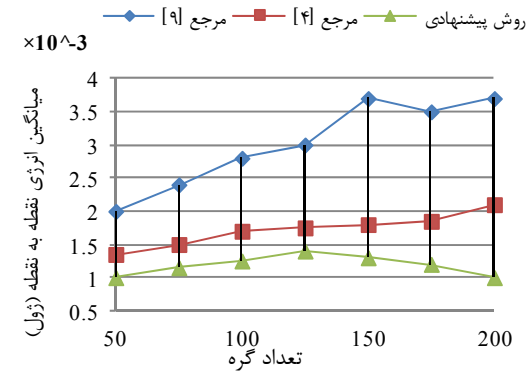
۲) **تولید تصادفی داده‌ها:** هر حسگر یک بسته از داده‌ها را با احتمال p در هر دور به چاهک گزارش می‌دهد.

۳) **تولید داده‌ها از یک منطقه محلی:** تنها حسگرهای یک منطقه محلی دارای داده‌هایی برای انتقال به چاهک در هر دور می‌باشند. شکل منطقه می‌تواند به صورت دایره، مربع یا اشکال دیگر باشد.

در این شبیه‌سازی‌ها نرخ ایجاد رویداد برابر با ۲۰۰ در نظر گرفته شده است. در شبیه‌سازی‌های ما نرخ تولید داده‌ها به صورت ۰٫۲۵ برای الگوی تصادفی تولید داده‌ها قرار داده شده و به این معنی است که حسگرها داده‌ها را با احتمال ۰٫۲۵ در هر دور تولید می‌نمایند در حالی که برای الگوی تولید داده‌ها از یک منطقه محلی، حسگرها در یک منطقه مربعی از (۰ و ۰) تا (۵۰ و ۵۰) به صورت مکرر داده‌ها را ارسال می‌کنند.



شکل ۱۴: نمودار میانگین انرژی باقیمانده گره‌های حسگر.



شکل ۱۵: نمودار میانگین مصرف انرژی نقطه به نقطه.

همان گونه که در شکل ۱۱ نشان داده شده، الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم‌های قبلی طول عمر شبکه را تحت الگوی تولید یکپارچه داده بیشتر افزایش داده است. نزدیک‌ترین گره به چاهک به ویژه به روش گفته‌شده در [۹] داده‌های کل شبکه را رله نموده که منجر به مصرف سریع انرژی و طول عمر کوتاه شبکه می‌گردد. در [۴] گره با بیشترین انرژی باقیمانده را به عنوان گام بعدی از همسایگان ارسال‌کننده انتخاب کرده که تا حدی به کارامدی توازن انرژی دست یافته و در مقایسه با [۹] طول عمر شبکه را افزایش داده است. الگوریتم پیشنهادی، کارامدی انرژی و توازن انرژی را از طریق منطق فازی ترکیب کرده و در مقایسه با روش‌های قبلی، طول عمر شبکه را به صورتی بیشتر افزایش داده که این مطلب به این معنی است که روش پیشنهادی می‌تواند به ترکیبی بهتر از کارامدی و توازن انرژی دست یابد.

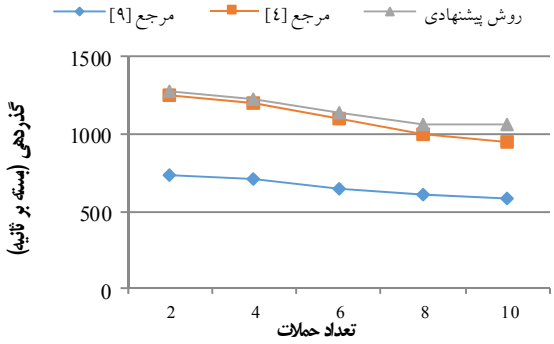
در شکل ۱۲ روش پیشنهادی را در مقایسه با الگوریتم تولید داده‌های تصادفی قرار داده‌ایم و طول عمر شبکه برای تولید داده تصادفی در روش پیشنهادی بیشتر از دو مرجع گفته‌شده است. در تولید داده تصادفی، در طول عمر شبکه بیشتر صرفه‌جویی می‌شود زیرا از تمام شبکه گزارش تهیه شده و از تمام احتمالات ارسال استفاده می‌شود.

تصویر ۱۳ نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با الگوریتم‌های مشابه تولید داده از مزیت بیشتری برخوردار است. با توجه به نتایج شبیه‌سازی می‌توانیم بگوییم که روش پیشنهادی برای طراحی شبکه مناسب‌تر است زیرا انطباق بیشتری با الگوهای مختلف تولید داده دارد.

۵-۳-۱ مقدار انرژی باقیمانده گره‌ها و کارامدی انرژی

شکل ۱۴ میانگین انرژی باقیمانده گره‌ها را تحت الگوی تولید یکپارچه داده‌ها در زمانی که اولین گره از کار می‌افتد نشان داده است. بنابراین در روش پیشنهادی در مقایسه با [۴] و [۹]، زمانی که اولین گره از کار می‌افتد گره‌های زیادی با انرژی باقیمانده بیشتر وجود دارد.

شکل ۱۶: نمودار مقایسه ریزش بسته‌ها در مقابل تعداد حملات.



شکل ۱۷: نمودار مقایسه گذردهی در برابر تعداد حملات.

شکل ۱۵ میانگین مصرف انرژی نقطه به نقطه را برای الگوریتم‌های مختلف تحت الگوی تولید یکپارچه داده‌ها نشان می‌دهد. بر این اساس، میانگین مصرف انرژی نقطه به نقطه در [۹] در مقایسه با [۴] زیادتر است. در [۹] برنامه ارسال‌کردن چندگامی با دامنه کوتاه برای انتقال داده‌ها به کار گرفته شده که مشخص گردیده در دامنه ارتباطی ارسال‌کننده جاری دارای کارامدی انرژی کمتری می‌باشد.

بر این اساس، میانگین مصرف انرژی نقطه به نقطه در [۹] در بالاترین حالت قرار داشته و گرایشی رو به بالا را با افزایش اندازه شبکه نشان می‌دهد. در روش پیشنهادی این مقاله، توازن انرژی گره‌ها در زمان اتخاذ تصمیمات مسیریابی به صورت ترجیحی در نظر گرفته می‌شود.

۵-۳-۲ بررسی امنیت روش پیشنهادی

شبکه‌های حسگر به علت استفاده از ارتباطات بی‌سیم و پیوندهای رادیویی امن نیستند. نفوذگرها می‌توانند ارسالات رادیویی را سرقت کرده، روی بسته‌ها تغییرات انجام دهند و در نهایت بسته تغییر داده را مجدداً وارد کانال کنند. ما فرض می‌کنیم مدافع بتواند گره‌های حسگر زیادی را با قابلیت سخت‌افزاری مشابه در محیط توزیع کند. در این قسمت مقایسات دیگری بین روش پیشنهادی و سایر مطالعات انجام گرفته است. در آزمایش اول، تعداد مهاجمان با مقادیر ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ در یک شبکه با ۱۰۰ گره، تغییر داده شده است.

شکل‌های ۱۶ و ۱۷ میزان تلفات بسته و میزان گذردهی را برای روش پیشنهادی و روش‌های ارائه‌شده در [۴] و [۹] نشان می‌دهد. در شکل ۱۶ با افزایش تعداد مهاجمان از ۱ به ۵، تلفات بسته به صورت خطی افزایش خواهد یافت که نتیجه‌اش کاهش ظرفیت پذیرش و نسبت تحویل بسته می‌باشد. با توجه به این که یکی از معیارهای انتخاب گره بعدی امنیت و جداسازی حملات می‌باشد تلفات بسته در روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر کمتر است.

در شکل ۱۷ می‌توانیم ببینیم که روش پیشنهادی گذردهی بیشتری نسبت به سایر روش‌ها مخصوصاً [۹] دارد چرا که میزان ترافیک کمتری در طول مسیر به وجود می‌آید و باعث می‌شود تعداد بسته بیشتری در

واحد زمان از مسیر عبور کند.

٦- تحقیقات آینده

زمینه مطالعاتی بعدی ما روی استفاده از مدل پیشنهادی در شبکه‌های بی‌سیم چندرسانه‌ای تمرکز خواهد داشت. طراحی و ایجاد چنین شبکه‌هایی به دلیل محدودیت در انرژی و حجم بافر کم، حساسیت به تغییرات تاخیر با چالش‌هایی مواجه می‌باشد و به همین منظور لازم است که لایه‌های مختلف شبکه‌های حسگر بی‌سیم چندرسانه‌ای به درستی تحلیل شود و مکانیسم‌های مناسب برای انتقال اطلاعات چندرسانه‌ای در شبکه‌های حسگر برای هر لایه معرفی گردد. در همین حال دستیابی به مصرف بهینه‌شده انرژی کل شبکه، کیفیت خدمات همچون پهنای باند، تأخیر و نرخ از دست دادن بسته نیاز برای برآورده‌نمودن الزامات کاربردهای خاص مد نظر قرار خواهند گرفت.

استفاده از توابع عضویت دیگر نظیر تابع گوسین جهت بررسی ویژگی‌های این توابع در یافتن گره مناسب بعدی نیز در آینده بررسی خواهد شد.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله با برشمردن کاستی‌هایی که پروتکل LEAP با آنها مواجه است به ارائه یک مدل پیشنهادی مبتنی بر منطق فازی برای برطرف‌کردن برخی از این کاستی‌ها پرداخته شد. دو معیار مهم مصرف انرژی و امنیت مورد ارزیابی قرار گرفتند. پارامترهای چهارگانه‌ای به عنوان ورودی‌های مدل پیشنهادی فازی معرفی و بررسی شدند. روش پیشنهادی به صورتی کارامد گره گام بعدی را برای ارتقای کارامدی انرژی بر مبنای سیستم منطق فازی انتخاب می‌کند. یک گره منبع قبل از ارسال یک گزارش، در رابطه با وضعیت گره گام بعدی با استفاده از ۴ عامل منطق فازی دست به بررسی می‌زند. نتایج آزمایشی نشان داده که روش پیشنهادی منابع انرژی را به صورتی بیشتر در مقایسه با روش اصلی حفظ می‌کند و از امنیت بیشتری در مقایسه با روش‌های موجود برخوردار است.

مراجع

[1] N. Sharma, "Impact of varying packet size on multihop routing protocol in wireless sensor networks," *Int. J. Adv. Stud. Comput. Sci. Eng.*, vol. 3, no. 9, pp. 10–16, 2014.

[2] D. S. Yoo and S. S. Choi, "Medium access control with dynamic frame length in wireless sensor networks," *J. of Information Processing Systems*, vol. 6, no. 4, pp. 501-510, Dec. 2010.

[3] S. Zhu, S. Setia, and S. Jajodia, "LEAP+: efficient security mechanisms for large-scale distributed sensor networks," *ACM Trans. Sen. Netw.*, vol. 2, no. 4, pp. 500-528, Nov. 2006.

[4] S. M. Nam and T. H. Cho, "A fuzzy rule-based path configuration method for LEAP in sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 31, no. 8, pp. 63-79, Mar. 2015.

[5] M. Akram and T. H. Cho "Energy efficient fuzzy adaptive selection of verification nodes in wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 47, pp. 16-25, sept. 2016.

[۶] م. ابراهیمی، ح. ز. احمدی و م. عباس نژادآرا، "ارزیابی روش‌های توافق کلید مبتنی بر ساختار Fuzzy Vault در شبکه‌های سنسور بی‌سیم روی بدن با استفاده از روش AHP فازی،" *نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر*، سال ۱۳، شماره ۴، صص. ۱۴۱–۱۳۳، زمستان ۱۳۹۴.

[۷] ف. صباحی و م. ر. اکبرزاده توتونچی، "شناسایی سیستم‌های غیرخطی بر اساس منطق فازی توسعه‌یافته،" *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، دوره ۴۴، شماره ۱، صص. ۳۲–۲۳، بهار ۱۳۹۳.

[8] M. Mirzaie and S. M. Mazinani, "Adaptive MCFL: an adaptive multi-clustering algorithm using fuzzy logic in wireless sensor network," *Computer Communications*, vol. 111, no. 1, pp. 56-67, Oct. 2017.

[9] J. K. Lee, S. M. Nam, and T. H. Cho, "ENSP: energy efficient next hop selection in a probabilistic voting-based filtering scheme using fuzzy logic," *Informatics Engineering, an International J.*, vol 2, no. 4, pp. 1-12, Dec. 2014.

[10] S. Banerjee and S. Khuller, "A clustering scheme for hierarchical control in multi-hop wireless networks," in *Proc. of 20th Annual Joint Conf. of the IEEE Computer and Communications Societies, INFOCOM'01*, pp. 1028-1037, Anchorage, AK, USA, 22-26 Apr. 2001.

[11] M. Gerla, T. J. Kwon, and G. Pei, "On demand routing in large ad hoc wireless networks with passive clustering," in *Proc. of Wireless Communications and Networking Conf., WCNC'00*, vol. 1 pp. 100-105, Chicago, IL, USA, 23-28 Sept. 2000.

[12] S. Basagni, "Distributed clustering algorithm for ad-hoc networks," in *Proc. Int. Symp. on Parallel Architectures, Algorithms, and Networks, I-SPAN'99*, pp. 310-315, Perth/Fremantle, Australia, 23-25 Jun. 1999.

[13] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 1, no. 4, pp. 660-670, Dec. 2002.

[14] D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann, and S. Kumar, "Next century challenges: scalable coordination in sensor networks," in *Proc. of the ACM/IEEE Int. Conf. on Mobile Computing and Networking, MOBICOM'99*, pp. 263-270, Seattle, Washington, USA, Aug. 1999.

[15] O. Younis and S. Fahmy, "Distributed clustering in ad-hoc sensor networks: a hybrid energy-efficient approach," in *Proc. of Twenty-third Annual Joint Conf. of the IEEE Computer and Communications Societies, INFOCOM*'04, vol. 1, pp. 640-699, Mar. 2004.

[16] J. Kulik, W. R. Heinzelman, and H. Balakrishnan, "Negotiation-based protocols for disseminating information in wireless sensor networks," *ACM Wireless Networks*, vol. 8, no. 2-3, pp. 169-185, Mar. 2002.

[17] K. Akkaya and M. Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 3, no. 3, pp. 325-349, May 2005.

[18] M. Handy, M. Haase, and D. Timmermann, "Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster-head selection," in *Proc. 4th Int. Workshop on Mobile and Wireless Communications Network,* pp. 368-372, Dec. 2002.

[19] S. Zhu, S. Setia, and S. Jajodia, "LEAP: efficient security mechanisms for large-scale distributed sensor networks," in *Proc. of the 10th ACM Conf. on Computer and Communications Security*, pp. 62-72, Oct. 2003.

[20] C. H. Lim, "LEAP++: a robust key establishment scheme for wireless sensor networks," in *Proc. Distributed Computing Systems Workshops*, pp. 376-381, Jul.2008.

[21] S. Slijepcevic, M. Potkonjak, V. Tsiatsis, S. Zimbeck, and M. B. Srivastava, "On communication security in wireless ad-hoc sensor networks," in *Proc. 11th IEEE Int. Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises, WET ICE'02*, pp. 139-144, Nov. 2002.

[22] R. M. Verma and B. E. Basile, "Modeling and analysis of LEAP, a key management protocol for wireless sensor networks," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Sensing, Communications and Networking, SECON'13*, pp. 65-67, Oct. 2013..

[23] A. Perrig, R. Szewczyk, J. D. Tygar, V. Wen, and D. E. Culler, "SPINS: security protocols for sensor networks," *Wireless Networks*, vol. 8, no. 5, pp. 521-534, Sept. 2002.

[24] L. Rongxing, L. Xiaodong, Z. Haojin, L. Xiaohui, and S. Xuemin, "BECAN: a bandwidth-efficient cooperative authentication scheme for filtering injected false data in wireless sensor networks," *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 23, no. 1, pp. 32-43, Jan. 2012.

[25] D. De, "A distributed algorithm for localization error detection-correction, use in in-network faulty reading detection: applicability in long-thin wireless sensor networks," in *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conf., 2009. WCNC'09*, 6 pp., May 2009.

[26] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in *Proc. of the 33rd Annual Hawaii Int. Conf. on System Sciences*, 10 pp., Aug. 2000.

وحید ستاری نائینی در سال ۱۳۷۸ مدرک کارشناسی مهندسی کامپیوتر خود را از دانشگاه صنعتی اصفهان و در سال ۱۳۸۰ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر خود را از دانشگاه اصفهان دریافت نمود. وی از سال ۱۳۸۰ به عنوان عضو هیات علمی در

بخش مهندسی کامپیوتر دانشگاه شهید باهنر کرمان مشغول به کار شد. وی مدرک دکترای مهندسی کامپیوتر خود را در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه اصفهان دریافت کرد. زمینه‌های علمی مورد علاقه‌ی ایشان عبارتند از: الگوریتم‌های هوش مصنوعی و کاربرد آن‌ها، شبکه‌های کامپیوتری، پردازش موازی، سیستم‌های روز تراشه، شبکه‌های روی تراشه.

فاطمه موحدی تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۵ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان به پایان رسانده است. زمینه‌های علمی مورد علاقه‌ی ایشان ارزیابی پارامترهای مؤثر در تحلیل شبکه‌های کامپیوتری می‌باشد.