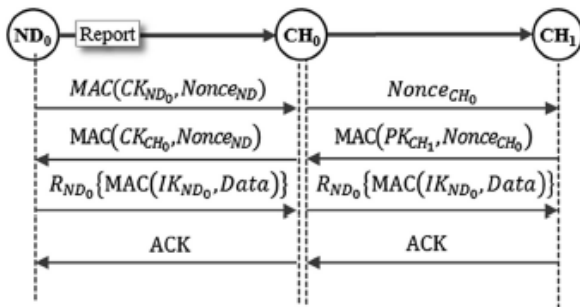


به کارگیری منطق فازی در انتخاب مناسب گره بعدی برای پیکربندی مسیر با پروتکل LEAP در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

وحید ستاری نائینی و فاطمه موحدی



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 باتری 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 پیام‌های کنترلی را به صورت همه‌پخشی^۱ 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^۲ که به لایه‌های شبکه حمله می‌کنند. حمله فروچاله به گونه‌ای است که اطلاعات جمع‌آوری شده توسط هر گره را به سرعت می‌برد یا راه‌های مسیریابی را تغییر می‌دهد. پروتکل رمزگذاری و احراز هویت محلی شده^۳ (LEAP) 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 دوبه‌دوی؛ 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].

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 کارآمد 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).

1. Broadcast

2. Sinkhole

3. Localized Encryption and Authentication Protocol

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 بازیگر بندی شبکه ارائه شده است. در [۸] روشی وقتی به کمک منطق فازی برای خوشه بندی 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 خوشه بندی 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 توزیع شده بهره‌گیری گردیده است که با استفاده از خوشه بندی، 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 توزیع شده، 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 ذکر شده 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 فروپاله 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 فیلتر کردن داده‌های جعلی تزیق شده 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 ۱ دو مورد احراز هویت را بین یک گره عادی ND و سرخوشه CH و بین دو سرخوشه CH و CH نشان می‌دهد. در مورد اول، زمانی که یک رویداد واقعی در یک خوشه رخ می‌دهد ND آن رویداد را کشف کرده و گزارشی را از طریق سرخوشه‌های واسطه به ایستگاه پایه اعلام می‌کند. قبل از این که ND گزارش را به CH ارسال کند، آن دو گره یکدیگر را از طریق کلیدهایشان مورد تأیید قرار می‌دهند. ND یک کد احراز هویت پیام (MAC) را که حاوی کلید خوشه‌ای ND و یک هدف فعلی است به CH انتقال می‌دهد. CH 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 پس از تأیید اعتبار کد احراز هویت پیام از طریق کلید خوشه‌ای ND ، گزارشی را تولید کرده که به یک کلید احراز هویت چسبیده که حاوی کلید فردی ND و داده‌های مربوط به رویداد بوده و گزارش را به CH انتقال می‌دهد. CH با یک پیام تصدیق (ACK) به ND پاسخ می‌دهد. در مورد دوم، CH قبل از ارسال کردن گزارشی که از ND دریافت شده، یک هدف فعلی را به CH انتقال می‌دهد. CH پس از دریافت هدف فعلی با یک کد احراز هویت که حاوی کلید جفتی CH بوده و هدف فعلی، پاسخ می‌دهد. CH سپس کلید جفتی CH را با استفاده از کلید جفتی‌اش مورد تأیید قرار می‌دهد. CH پس از پایان تأیید اعتبار، گزارش را به CH انتقال می‌دهد. زمانی که CH گزارش را دریافت می‌کند یک پیام تصدیق ارسال می‌شود.

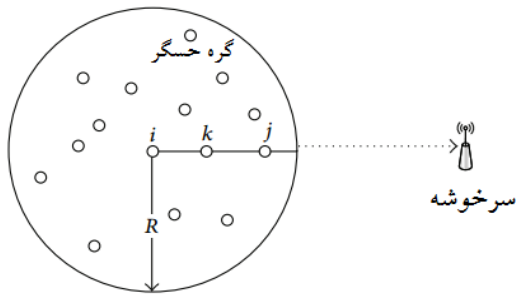
استفاده از منطق فازی در کاربردهای مهندسی به جهت کارایی این روش در بسیاری از پژوهش‌ها مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است [۵] تا [۸]. در این پژوهش نیز از این روش برای انتخاب مناسب گروه بعدی جهت برطرف کردن مشکلات پروتکل LEAP بر اساس پارامترهای مختلف بهره‌گیری می‌شود.

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 تعیین شده 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



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

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

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]

$$E_{Rx}(l) = lE_{elec} \quad (۲)$$

۴-۱- پارامترهای مورد استفاده در سیستم فازی پیشنهادی

۴-۱-۱- 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 $DCSP(k)$ باید به عنوان یکی از پارامترهای بهینه‌شده انرژی مورد استفاده قرار گیرد که به صورت زیر محاسبه می‌شود [۲۶]

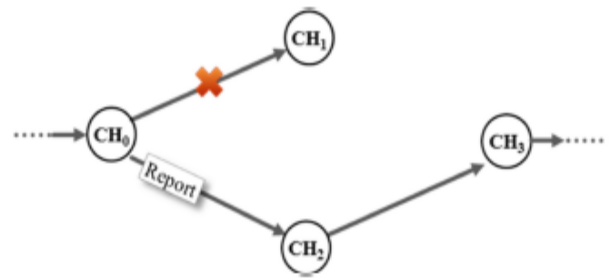
$$DCSP(k) = \frac{d(i, \sin k)}{d(i, k) + d(k, \sin k)} \quad (۳)$$

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 $(DCSP(k) = 1)$ رسیده که k روی خط از i به چاهک قرار می‌گیرد.

۴-۱-۲- درجه نزدیکی گره به سرخوشه

در فرایند انتقال داده‌ها دو روش ارسال کردن داده‌ها یعنی تک‌گامی و چندگامی می‌تواند در درون دامنه ارتباطی ارسال‌کننده کنونی استفاده شود. اگر هر حسگر در یک مسیر ارسال کردن داده‌ها بتواند از حداکثر یکی از همسایگان تک‌گامی‌اش برای ارسال کردن 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. همان‌طور 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



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.

۴- روش پیشنهادی

شکل ۲ انتخاب کارآمد گره گام بعدی بین CH_1 و CH_2 را نشان می‌دهد. همان‌طور 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. حس کردن 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

برای ارزیابی گام جایگزین بعدی، حسگر i ، میزان انرژی باقیمانده انرژی (EUB) بین خود و همسایگان ارسال کننده گزارش را محاسبه می کند و سپس همسایگان بعدی را نسبت به میزان انرژی آنها جایگزین می نماید.

با فرض این که گره ارسال کننده k به عنوان گام بعدی انتخاب شده و داده ها به آن انتقال یافته اند، انرژی مورد انتظار حسگر i به صورت زیر می باشد [۲۶]

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

پس از آن که حسگر i ، ناتراز بودن انرژی را برای هر همسایه ارسال کننده محاسبه می کند، درجه تراز انرژی (DEB) برای انتخاب گره k به عنوان گام بعدی بر اساس (۱۰) محاسبه می شود [۲۶]

$$DEB(k) = \frac{1}{\sum_{j \in FN(i)} \frac{1}{EUB^j}} \quad (۱۰)$$

۴-۱-۴- شمارش پیام پالایش شده اشتباه

این عامل ارائه دهنده وضعیت امنیت شبکه در هر گره می باشد. اگر یک سرخوشه تعداد زیادی از پیام های اشتباه برای حمله فروچاله یا حمله حذف بسته را دریافت کند، از خوشه ای که مورد حمله قرار گرفته برای حفظ انتقال ایمن، اجتناب می شود. حفظ سطح امنیت به واسطه تعداد پیام های انتشار اشتباه پالایش شده، تحت تأثیر قرار می گیرد.

۴-۲- 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 می باشد: فازی کننده، موتور استنتاج فازی و غیر فازی کننده. فازی کننده، هر مقدار ورودی شکننده را به مجموعه های مشابه فازی نگاشت کرده و بر این اساس آن را به یک مقدار حقیقی یا درجه ای از عضویت برای هر مجموعه فازی تبدیل می کند. مقادیر فازی شده با موتور استنتاج فراوری گردیده که متشکل از یک قاعده پایه و روش های مختلفی برای استنتاج قواعد است. قاعده پایه در واقع مجموعه ای از قواعد اگر- آنگاه^۴ بوده که متغیرهای ورودی فازی را با متغیرهای خروجی فازی با استفاده از متغیرهای زبان شناختی تنظیم نموده که هر کدام از آنها توسط یک مجموعه فازی توصیف گردیده است. غیر فازی کننده، عمل غیر فازی کنندگی را بر روی فضای راه حل فازی اجرا می کند.

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

تابع عضویت فازی می تواند اشکال مختلفی داشته باشد. از آنجایی که تأکید اصلی این پژوهش بر امکان سنجی روش پیشنهادی در پیدا کردن گره بعدی است در این مقاله از تابع عضویت ذوزنقه ای استفاده شده و بررسی دیگر توابع عضویت به کارهای آینده موکول می شود. از طرفی جهت یکسان بودن شرایط شبیه سازی از تابع ذوزنقه ای استفاده شده است.

مصرف انرژی برای ارسال داده ها از حسگر i به j بر اساس تابع دو طرح تک گامی و چندگامی برای مدل فضای باز به کمک (۴) بیان می شود

$$E_{single-hop} = \gamma E_{elec} + l \varepsilon_{amp} d^{\alpha}(ij) \quad (۴)$$

$$E_{multi-hop} = \gamma E_{elec} + l \varepsilon_{amp} (d^{\alpha}(i,k) + d^{\alpha}(k,j))$$

مصرف انرژی مورد نیاز برای پیش بردن داده ها از حسگر i به j به ترتیب از طریق فرایندهای پیش برنده تک گامی 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 پیش برنده چندگامی با دامنه کوتاه در مقایسه با تک گامی، کارآمدتر بوده پس حالت $E_{single-hop} > E_{multi-hop}$ استنتاج می شود. از (۴) می توانیم 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 می توانیم حالت زیر را استنتاج کنیم

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

بررسی این که (۵) و (۶) به کار گرفته شوند کار آسانی است و بر این اساس، برنامه ارسال کردن تک گامی در میان دامنه ارتباطی تک گامی حسگر منبع یا یک ارسال کننده جاری، از نظر انرژی کارآمدتر می باشد. به منظور ذخیره انرژی، گره همسایه که نزدیک تر به چاهک بوده باید به عنوان گام بعدی انتخاب شود. تعریف درجه نزدیکی گره به سرخوشه^۱ (DCS) به صورت زیر می باشد

$$DCS = \frac{1}{\sum_{j \in FN(i)} \frac{1}{d(j, CH)}} \quad (۷)$$

پارامتر $d(k, CH)$ نشان دهنده فاصله از گره k تا چاهک بوده و $FN(i)$ به مجموعه همسایه های ارسال کننده گره منبع i دلالت دارد.

۴-۱-۳- نسبت انرژی باقیمانده هر گره

الگوریتم های مسیریابی پویای موجود معمولاً بر اساس انرژی باقیمانده هر حسگر، مسیر خود را برای انتخاب گام بعدی تغییر می دهند. قبل از ارسال کردن گزارش مقدار انرژی گره ها سنجیده می شود. ما در این مقاله برای ارسال اطلاعات از پیش بینی مقدار انرژی باقیمانده هر گره در زمان انتخاب مسیر استفاده می کنیم و در نهایت گرهی به عنوان گام بعدی انتخاب می شود که بالاترین مقدار انرژی را داشته باشد.

ناتراز بودن انرژی (EUB)^۲ مجموعه ای از حسگرها با (۸) بیان می شود [۲۶]

$$EUB = 1 - \left[\frac{1}{n} \sum_{i \in A} \left(\frac{E(i)}{\bar{E}} \right)^{1-\varepsilon} \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon}} \quad (۸)$$

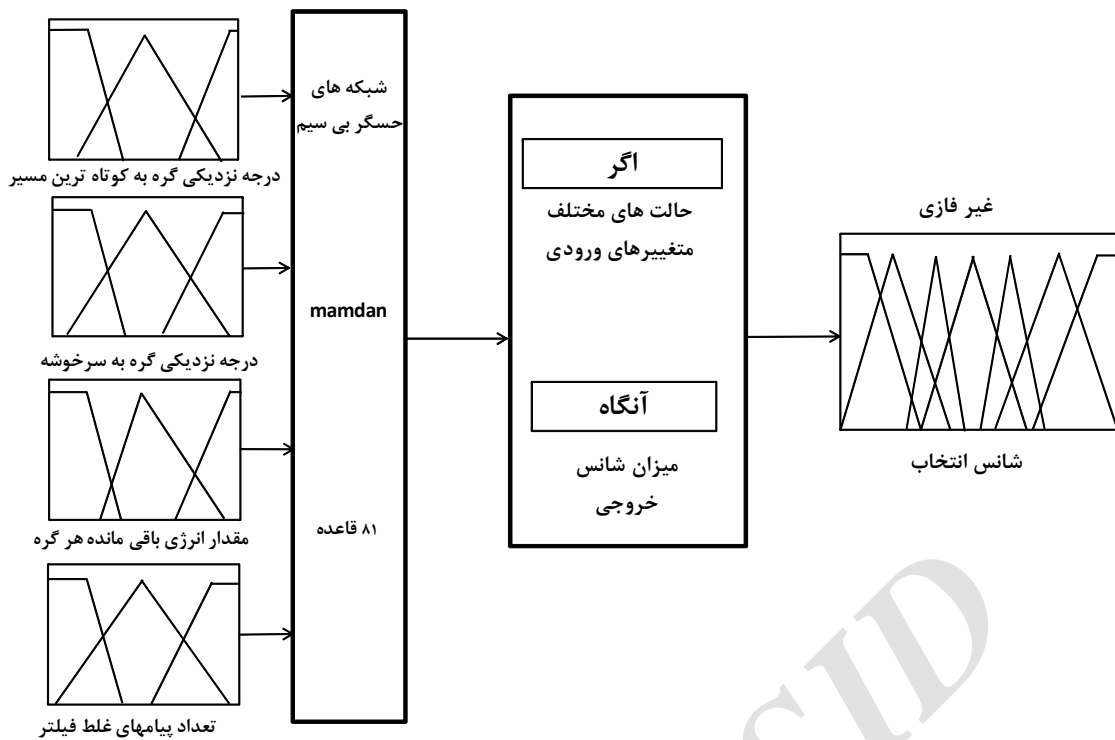
که در آن $E(i)$ انرژی باقیمانده حسگر i ، \bar{E} میانگین انرژی باقیمانده و ε شاخص مغایرت نامساوی بودن است که دامنه مقادیر آن از صفر تا بی نهایت می باشد. مقادیر ε که به صورت نوعی مورد استفاده قرار گرفته ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ می باشند.

3. Degree of Energy Balance

4. If-Then

1. Degree of Closeness of Node to Sink

2. Energy Unbalancing



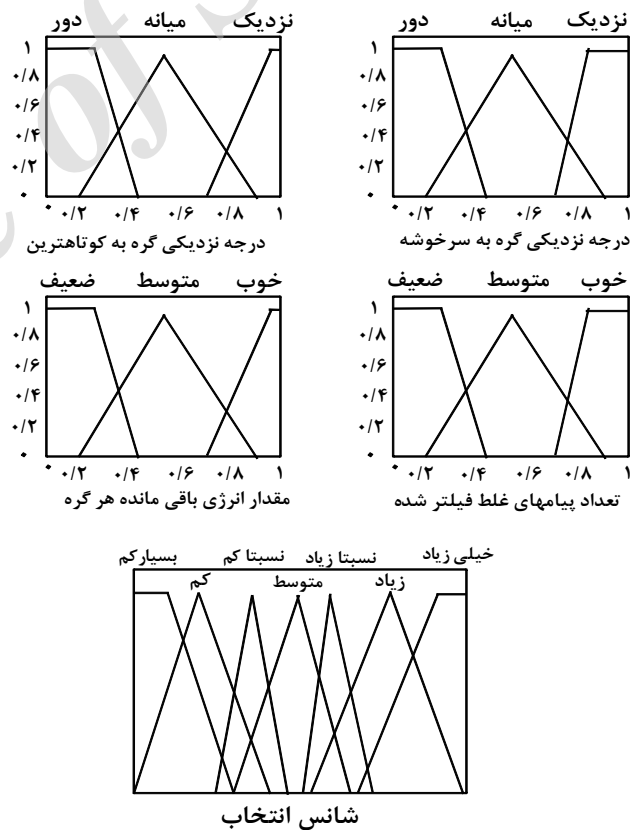
شکل ۴: مدل سیستم فازی پیشنهادی.

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 فیلتر شده وجود دارد: کم، متوسط و زیاد.

متغیر خروجی فازی که بیانگر عملیات غیر فازی‌سازی^۱ 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 انتخاب شدن 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.

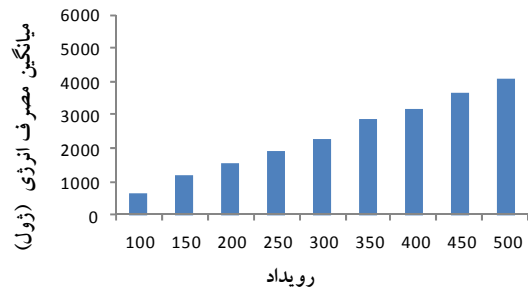
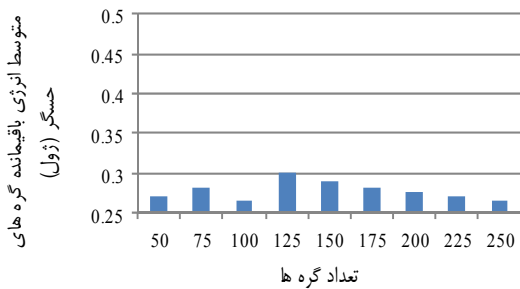
در این جدول که ۸۱ شانس خروجی را بیان می‌کند اگر سطح انرژی باقیمانده کافی بوده، فاصله کوتاه بوده و تهدید خطر هم کم است، پس این گره کاندیدی به عنوان گره بعدی می‌باشد. این مورد بر این مسئله دلالت داشته که در اینجا یک وضعیت عادی برای انتقال و ارسال کردن یک گزارش وجود دارد. در مقابل اگر سطح انرژی باقیمانده 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



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 کارآمدی 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

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			درجه نزدیکی گره به کوتاه‌ترین مسیر	درجه نزدیکی گره به سرخوشه	مقدار انرژی باقیمانده	تعداد پیام‌های غلط فیلترشده	شانس انتخاب	آنگاه
	انگاز								
۱	دور	دور	ضعیف	کم	خیلی کم				
۳	دور	دور	ضعیف	زیاد	کم				
۱۳	دور	دور	میانه	کم	نسبتاً کم				
۱۵	دور	دور	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 ^۲

انرژی کل شبکه حسگر را به ازای هر رویداد نشان می‌دهد. همان‌طور 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 متوازی 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 کارآمد گره گام بعدی، ذخیره‌نموده 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. همان‌طور 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 کارآمد گره گام بعدی را برای ارتقای انرژی بر مبنای سیستم منطق فازی انتخاب می‌کند. یک گره منبع قبل از ارسال کردن 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.

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 کارآمد گره بعدی را برای کاهش مصرف انرژی انتخاب کند. بر این اساس، بررسی وضعیت گره بعدی برای ارتقای کارآمدی 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.

۱-۵ بررسی مصرف انرژی

ارتباط رادیویی، پرمصرف‌ترین عملیات می‌باشد و هزینه‌ای که پروتکل بهینه‌سازی مسیر مبتنی بر گروه (خوشه) و متعادل نمودن 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.

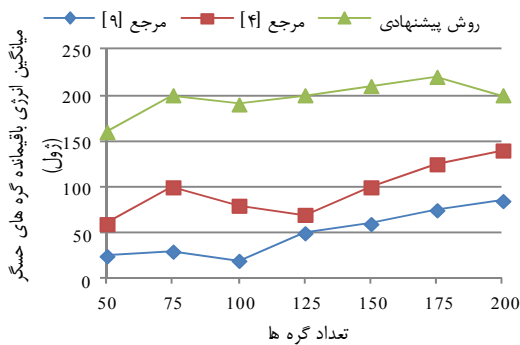
اولین مقایسه که در شکل ۶ نشان داده شده است بررسی میزان انرژی مصرفی بر حسب رویدادهای مختلف می‌باشد. این شکل میانگین مصرف

۲-۵ ارزیابی روش پیشنهادی در مقایسه با پروتکل

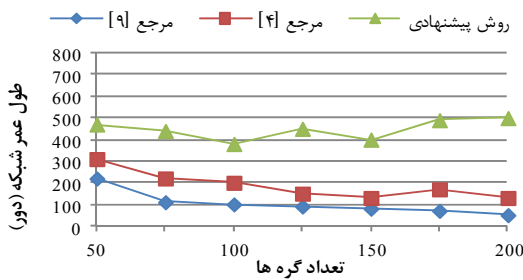
پایه LEAP

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.

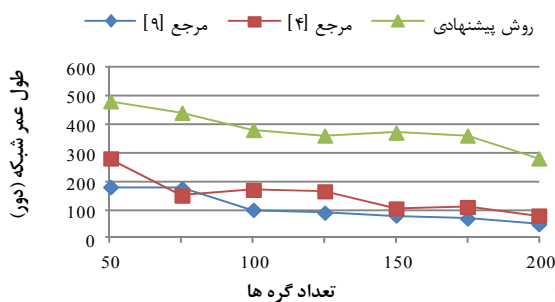
یک شکاف بین این دو روش از زمانی ایجاد شده که ۳۰۰ رویداد اتفاق افتاده است. زمانی که ۵۰۰ رویداد اتفاق بیفتد، پروتکل LEAP و روش پیشنهادی به ترتیب ۵/۳۰۰ و ۵/۵۰۰ ژول انرژی مصرف کرده‌اند. روش پیشنهادی در مقایسه با پروتکل LEAP، ذخیره انرژی را تا حدود ۵ درصد



شکل 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.

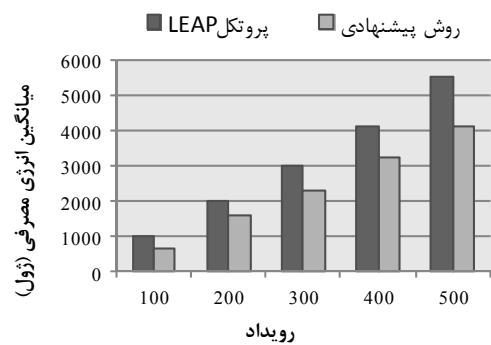
بسیاری از تحقیقات پیشین این مطلب را فرض کرده‌اند که هر حسگر باید داده‌ها را در هر دور به چاهک ارسال کند. بر این اساس، همه حسگرها دارای نرخ تولید داده‌های واحدی می‌باشند. در این مقاله سه الگوی تولید داده‌ها مد نظر قرار گرفته که به صورت زیر می‌باشند:

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

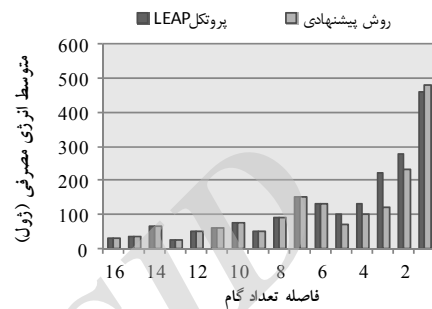
(۲) **تولید تصادفی داده‌ها:** هر حسگر یک بسته از داده‌ها را با احتمال p در هر دور به چاهک گزارش می‌دهد.

(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.

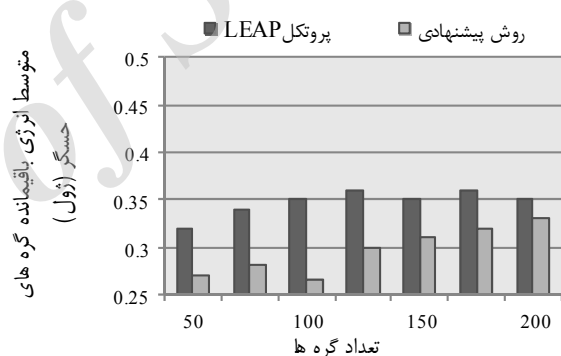
در این شبیه‌سازی‌ها نرخ ایجاد رویداد برابر با ۲۰۰ در نظر گرفته شده است. در شبیه‌سازی‌های ما نرخ تولید داده‌ها به صورت ۰/۲۵ برای الگوی تصادفی تولید داده‌ها قرار داده شده و به این معنی است که حسگرها داده‌ها را با احتمال ۰/۲۵ در هر دور تولید می‌نمایند در حالی که برای الگوی تولید داده‌ها از یک منطقه محلی،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



شکل 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.

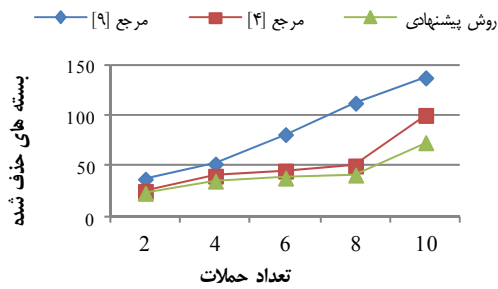
بهبود می‌بخشد. بر این اساس روش پیشنهادی، منابع انرژی را از طریق انتخاب کارآمد گره بعدی، ذخیره نموده و طول عمر شبکه حسگر را افزایش می‌دهد.

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.

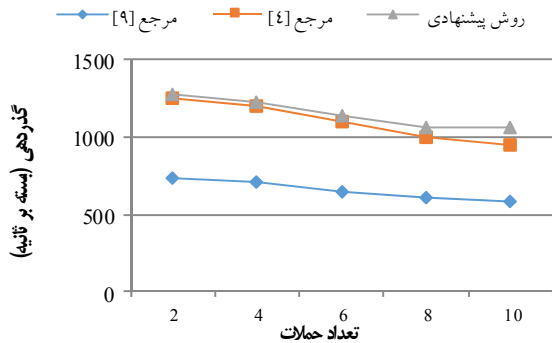
در شکل ۱۰ متوسط مصرف انرژی در مقایسه با پروتکل پایه LEAP برای تعداد گام‌های بین ۲ تا ۱۶ گام آمده است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با استفاده از منطق فازی ۴ متغیره به خوبی قادر به انتخاب گام بعدی برای ارسال اطلاعات می‌باشد که این امر سبب می‌شود روش پیشنهادی انرژی کمتری نسبت به پروتکل LEAP مصرف کند.

۳-۵ 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 ۱۶: نمودار مقایسه ریزش بسته‌ها در مقابل تعداد حملات.



شکل ۱۷: نمودار مقایسه گزردگی 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 ارسال کردن چندگامی با دامنه کوتاه برای انتقال داده‌ها به کار گرفته شده که مشخص گردیده در دامنه ارتباطی ارسال‌کننده جاری دارای کارآمدی انرژی کمتری می‌باشد.

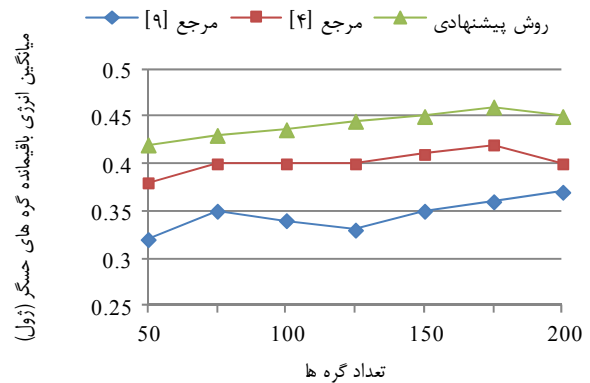
بر این اساس، میانگین مصرف انرژی نقطه به نقطه در [۹] در بالاترین حالت قرار داشته و گرایشی رو به بالا را با افزایش اندازه شبکه نشان می‌دهد. در روش پیشنهادی این مقاله، توازن انرژی گره‌ها در زمان اتخاذ تصمیمات مسیریابی به صورت ترجیحی در نظر گرفته می‌شود.

۳-۲-۳-۵ بررسی امنیت روش پیشنهادی

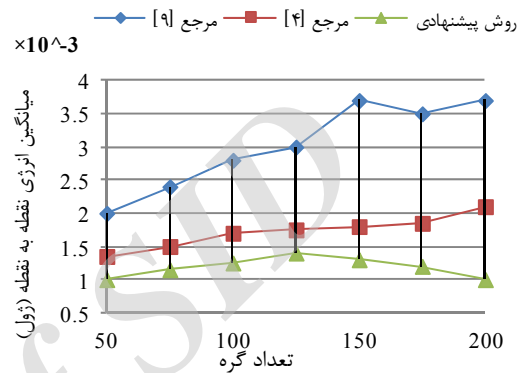
شبکه‌های حسگر به علت استفاده از ارتباطات بی‌سیم و پیوندهای رادیویی امن نیستند. نفوذگرها می‌توانند ارسال رادیویی را سرقت کرده، روی بسته‌ها تغییرات انجام دهند و در نهایت بسته تغییر داده را مجدداً وارد کانال کنند. ما فرض می‌کنیم مدافع بتواند گره‌های حسگر زیادی را با قابلیت سخت‌افزاری مشابه در محیط توزیع 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 گزردگی 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 گزردگی 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



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 کارآمدی توازن انرژی دست یافته و در مقایسه با [۹] طول عمر شبکه را افزایش داده است. الگوریتم پیشنهادی، کارآمدی 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 کارآمدی 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.

۳-۲-۳-۵ مقدار انرژی باقیمانده گره‌ها و کارآمدی 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.

واحد زمان از مسیر عبور کند.

۶- 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 تأخیر 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 برطرف کردن 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 کارآمد گره بعدی را برای ارتقای کارآمدی انرژی بر مبنای سیستم منطق فازی انتخاب می‌کند. یک گره منبع قبل از ارسال یک گزارش، در رابطه با وضعیت گره 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.
- [6] م. ابراهیمی، ح. ز. احمدی و م. عباس نژادار، "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.
- [7] ف. صباچی 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

فاطمه موحدی تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر به ترتیب 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.

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.

Archive of SID