پروتکل مسیریابی سبز مبتنی بر زمان‌بندی خواب برای شبکه موردی سیار

زینب موحدی و ایوب کریمی

چکیده: در سال‌های اخیر فناوری ارتباطات سبز به عنوان یکی از مهم‌ترین حوزه‌های تحقیقاتی و صنایع ارتباطی مورد توجه قرار گرفته که علت توجه به این حوزه تأثیر آن بر کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌باشد. مطابق تحقیقات اخیر، سهم مهمی از آلودگی تولیدشده توسط بخش فناوری اطلاعات و ارتباطات مربوط به شبکه‌های کامپیوتری محلی است. یکی از پرکاربردترین شبکه‌های محلی شبکه موردی سیار می‌باشد که کارامدی انرژی در این گونه شبکه‌ها نه تنها از نقطه نظر ارتباطات سبز، بلکه به دلیل محدودیت‌های آنها از جمله طول عمر باطری، اهمیت زیادی می‌یابد. هرچند ویژگی‌های شبکه موردی سیار همچون نبود مدیریت متمرکز، تحرک گره‌ها، تغییرات توپولوژی و کمبود منابع، روند سبزنمودن را به یک امر چالش‌برانگیز در این حوزه تبدیل نموده است. در این مقاله به ارائه و پیاده‌سازی یک پروتکل مسیریابی سبز برای شبکه موردی سیار می‌پردازیم که مسئله کاهش مصرف انرژی را با به خواب بردن گره‌های غیر ضروری حل می‌نماید. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که این روش می‌تواند به طور میانگین تا ۲۰ درصد به صرفه‌جویی انرژی در شبکه دست یابد در حالی که آگاه به کیفیت سرویس نیز می‌باشد.

کلیدواژه: **ارتباطات سبز، شبکه موردی سیار، رله‌های چندنقطه‌ای، سیستم فازی، الگوریتم ژنتیک.**

۱- مقدمه

یک شبکه موردی سیار مجموعه‌ای از گره‌های متحرک است که بدون وجود زیرساخت و مدیریت متمرکز به صورت بی‌سیم با هم در ارتباط هستند. این شبکه‌ها کاربردهای گسترده‌ای در حوزه‌های مختلفی چون نظامی، امداد و نجات، برپایی کنفرانس‌ها و شبکه‌های وسایل نقلیه دارند [۱]. شبکه موردی سیار با خصوصیاتی همچون نبود مدیریت متمرکز، پویایی شبکه و محدودیت شدید منابع از لحاظ توان محاسباتی، انرژی و پهنای باند شناخته می‌شوند. به دلیل میزان باطری محدود گره‌های سیار، هر پروتکل و کاربرد ارائه‌شده برای شبکه موردی سیار باید با در نظر گرفتن محدودیت‌های انرژی توسعه یابند. به منظور دستیابی به این هدف، یک پروتکل شبکه موردی سیار باید انرژی مصرفی ناشی از گره‌های غیر ضروری را کمینه سازد. این کارامدی انرژی[1] نه تنها از نظر محدودیت‌های باطری بلکه از دیدگاه آلودگی زیست‌محیطی تولیدی و هزینه‌های اقتصادی نیز اهمیت بسیاری می‌یابد که به این رویکرد ارتباطات سبز گفته می‌شود [۲] تا [۴].

این مقاله در تاریخ ۲ آبان ماه ۱۳۹۵ دریافت و در تاریخ ۱۶ فروردین ماه ۱۳۹۶ بازنگری شد.

زینب موحدی، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، (email: zmovahedi@iust.ac.ir).

ایوب کریمی، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، (email: karimi.ayyoub@gmail.com).

1. Energy Efficience

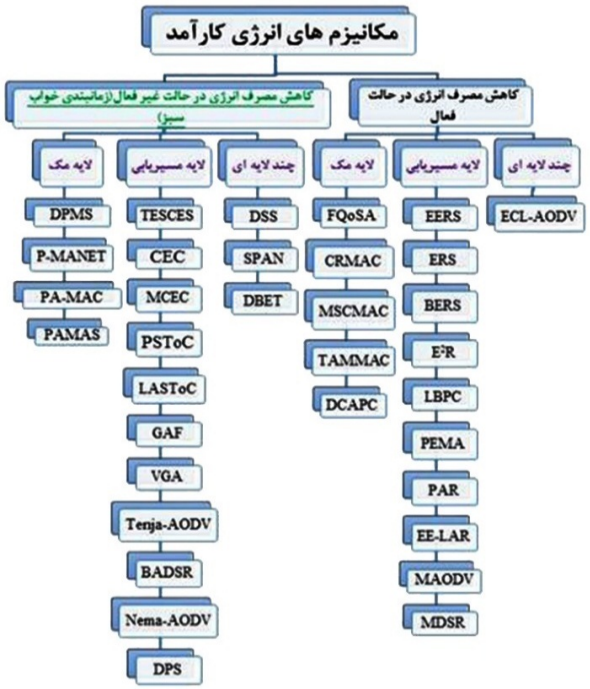
ارتباطات سبز از این جهت اهمیت می‌یابد که امروزه ۳ درصد از کل انرژی مصرفی کره زمین توسط زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مصرف می‌گردد و حدود ۲ درصد از گازهای گلخانه‌ای[2] منتشرشده در سطح جهان نیز توسط این زیرساخت‌ها ایجاد می‌گردند. با توجه به این که طبق آمارها در حال حاضر ۳۷ درصد از دی‌اکسید کربن منتشرشده از کل فناوری اطلاعات و ارتباطات به خاطر بخش ارتباطات است [۳] و تحقیقات اخیر، بخش ICT را مسئول تولید ۰/۷۵ میلیون تن دی‌اکسید کربن به ازای هر تراوات ساعت مصرف انرژی معرفی می‌کند [۵] و افزایشی تقریباً معادل ۶ درصد در انتشار دی‌اکسید کربن به ازای هر سال تا سال ۲۰۲۰ میلادی پیش‌بینی کرده است [۶]. در چنین شرایطی ارتباطات سبز به عنوان چارچوبی برای طراحی و در دسترس قرار دادن شبکه‌های ارتباطی با هدف رشد پایدار آنها تعریف شده است.

در واقع، ارتباطات سبز، مرتبط با میزان آلودگی تولیدشده توسط تمام شبکه/ سیستم می‌باشد نه طول عمر گره‌های منفرد اما در طراحی شبکه‌ها از این جنبه به صورت کامل صرف نظر شده و انرژی کارامدی اکثر شبکه‌های موجود بسیار پایین است [۷]. از آنجا که یک شبکه ارتباطی موردی سیار ایده‌آل باید مصرف انرژی بیهوده را زمانی که یک گره سیار بیکار می‌ماند و به رسانه بی‌سیم گوش می‌دهد مینیمم سازد، رویکرد خواب‌کردن گره‌های بیکار راه حل رایج در تحقیقات سبز است.

در این مقاله، یک روش مسیریابی سبز برای شبکه موردی سیار پیشنهاد شده که هدف آن حداقل‌نمودن مصرف انرژی و به دنبال آن کاهش انتشار دی‌اکسید کربن با استفاده از زمان‌بندی خواب است که توأمان نگاه ویژه‌ای به کیفیت سرویس نیز خواهد داشت. در واقع، ابزارهای شبکه که الگوریتم انتخاب مسیر پیشنهادشده را اجرا می‌کنند می‌توانند ترافیک را بر اساس نتایج پیش‌بینی شده مدیریت نموده و برای دستیابی به صرفه جویی انرژی در مقیاس کل شبکه در زمان‌های بیکاری به خواب روند.

در ادامه مقاله به بررسی پروتکل‌های مسیریابی انرژی کارامد که تاکنون برای شبکه‌های موردی سیار معرفی شده‌اند می‌پردازیم و تعدادی از آنها را به صورت اجمالی معرفی خواهیم کرد و در نهایت ویژگی‌های آنها را مقایسه خواهیم نمود. سپس در بخش سوم، روش پیشنهادی خود را در دو مرحله انتخاب گره شایسته جهت رفتن به حالت خواب و انتخاب مسیر بهینه از نظر پارامترهای کیفیت سرویس بیان خواهیم نمود. نتیجه ارزیابی‌های پروتکل ارائه‌شده را در بخش چهارم نمایش می‌دهیم و سپس در بخش انتهایی، نتیجه‌گیری مقاله و کارهای آینده را بررسی خواهیم کرد.

2. Green House Gases



شکل ۱: طبقه‌بندی مکانیزم‌های انرژی کارامد.

۲- کارهای پیشین

از آنجا که توان گره‌های سیار توسط باطری‌های با ظرفیت محدود تأمین می‌شود کارامدی انرژی و آگاهی از آن می‌تواند مهم‌ترین مسئله طراحی برای یک شبکه موردی سیار محسوب شود. اهداف اولیه پروتکل‌های مسیریابی شبکه موردی سیار ماکسیمم‌نمودن گذردهی شبکه، کارامدی انرژی، طول عمر و مینیمم‌نمودن تأخیر است [۸].

مکانیزم‌هایی که تاکنون ارائه شده‌اند یا انرژی مورد نیاز ارتباط فعال برای ارسال/ دریافت بسته‌ها را کاهش می‌دهند یا انرژی مصرفی در حالت غیر فعال را کمینه می‌نمایند. برای رسیدن به این مهم سه روند کاری کنترل توان ارسال، کنترل توزیع بار و حالت خاموشی/ خواب وجود دارد که دو روش اول متعلق به حالت ارتباطی فعال و سومین روش متعلق به حالت ارتباطی غیر فعال است. در رویکرد کنترل توان ارسال، توان ارسال یک گره سیار برای حفظ یک ساختار متصل از شبکه کنترل می‌گردد که هدف آن یافتن بهترین مسیری است که مجموع هزینه‌های ارتباطی بین منبع و مقصد را کمینه کند. در روش توزیع بار، ترافیک شبکه بین گره‌ها برای حداکثرنمودن طول عمر شبکه توزیع می‌شود. این رویکرد استفاده از گره‌هایی که تحت بار زیاد بوده‌اند را کاهش می‌دهد در حالی که مسیری برای افزایش طول عمر مجموع شبکه انتخاب می‌کند. در حالت غیر فعال، گره متحرک بیکار می‌ماند اما برای هر درخواست ارتباطی از سوی دیگر گره‌ها به رسانه بی‌سیم گوش فرا می‌دهد. رویکردهای خاموشی/ خواب، مصرف انرژی گره‌ها در حالت بیکار که در آن دریافت یا ارسالی انجام نمی‌گیرد را کاهش می‌دهند و برای شبکه‌های با بار ترافیکی پایین مناسب هستند [۹].

۳- مکانیزم‌های مسیریابی انرژی کارامد

پروتکل‌های مسیریابی در شبکه موردی سیار باید به صورت هم‌زمان به کارامدی شبکه توجه داشته و در عین حال محدودیت‌های شبکه نظیر انرژی مصرفی را در نظر داشته باشند. کارامدی انرژی در این نوع شبکه نه تنها از دیدگاه محدودیت‌های باطری اهمیت می‌یابد بلکه از نظر تأثیرات زیست‌محیطی و هزینه‌های انرژی نیز توجه فراوانی را در قرن حاضر به خود جلب نموده است [۹]. در نتیجه با توجه به ارتباطات سبز به بررسی رویکردها و تکنیک‌هایی در این شبکه‌ها می‌پردازیم که مصرف انرژی شبکه را با توجه به اثرات محیطی آن کاهش می‌دهند. این رویکردها از رویکردهای آگاه به انرژی شناخته‌شده که در آنها هدف صرفه‌جویی در مصرف باطری و در نتیجه آن افزایش طول عمر شبکه می‌باشد متفاوت هستند. به عبارت دیگر، ارتباطات سبز متوجه میزان آلودگی تولیدی از کل شبکه یا سیستم است نه طول عمر گره‌های منفرد.

اگرچه تحقیقات زیادی با تمرکز بر پروتکل‌های مسیریابی انرژی کارامد شبکه موردی سیار صورت گرفته و راه حل‌های بسیاری ارائه شده است [۹] و [۱۰] اما تحقیقات بر روی راه حل‌های مسیریابی سبز هنوز در آغاز راه خود قرار دارد. تکنیک مشترک به کار گرفته شده در هر دو رویکرد سبز و آگاه به انرژی شامل زمان‌بندی خواب می‌باشد که عبارت است از تغییر حالت گره از بیداری به خواب و بالعکس. مکانیزم‌های انرژی کارامد را مطابق شکل ۱ در دو دسته کلی و سه زیردسته لایه مک [۱۱] تا [۱۳]، مسیریابی و چندلایه‌ای طبقه‌بندی می‌نماییم که با توجه به روش پیشنهادی، پروتکل‌های زمان‌بندی خواب لایه مسیریابی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بررسی مکانیزم‌های انرژی کارامد مبتنی بر حالت غیر فعال (خواب) در لایه مسیریابی مبتنی بر کش به مبتنی بر حافظه‌ی نهان جایگزین گردید.

Taneja-AODV -

در این مکانیزم رویکردی پیشنهاد می‌شود که هدف آن در نظر گرفتن توان در طول کشف مسیر است. این رویکرد شبکه‌هایی را که تعداد زیادی گره دارند در نظر می‌گیرد و یک سطح ترافیک داده‌ای متفاوت را مدیریت می‌کند. این روش پروتکل AODV را با این فرض که باطری سه وضعیت به صورت زیر می‌تواند داشته باشد اصلاح می‌کند:

- اگر سطح باطری کمتر از ۲۰٪ باشد وضعیت خطرناک است.
- اگر سطح باطری بین ۲۰٪ تا ۵۰٪ باشد وضعیت بحرانی است.
- اگر سطح باطری بیشتر از ۵۰٪ باشد در وضعیت فعال است.

روش ارائه‌شده دارای سه فاز درخواست مسیر، پاسخ مسیر و تعمیر محلی است. تابع مرتبط با توان فقط در فاز پاسخ مسیر انجام می‌شود به خاطر این که در آغاز همه گره‌ها در حالت اولیه هستند و توان کامل برای یافتن مسیر و ارسال پیام درخواست را دارند. همه گره‌هایی که در فرایند درخواست مسیر مشارکت نمی‌کنند به حالت خواب می‌روند [۱۴].

BADSR -

هدف یافتن یک روش جدید بود که مصرف انرژی را در طول حالت بیکاری گره مینیمم سازد. به خاطر این که توان زیادی توسط گره‌ها حتی زمانی که در حالت خواب یا بیکار هستند مصرف می‌شود، محققان یک پروتکل برای حذف یا کاهش انرژی هدررفته ارائه داده‌اند [۱۵] و مصرف انرژی توسط گره‌ها را به صورت زیر معرفی نمودند:

انرژی مصرف‌شده در طول ارسال و دریافت یک بسته و انرژی مصرف‌شده در طول حالت خواب و بیکاری.

TESCES -

پروتکل مسیریابی مثلثی صرفه‌جویی انرژی مبتنی بر کش با کمک غربالگری انرژی با نام TESCES[1] [۱۶] یک پروتکل سبز و مبتنی بر

1. Tringular Energy-Saving Cache-Based Routing Protocol by Energy Saving

جدول ۱: ویژگی‌های پروتکل‌های زمان‌بندی خواب لایه مسیریابی.

ویژگی/ پروتکل	TESCES	MCEC/CEC	PSToC	GAF/VGA
رویکرد انرژی کارامد			سبز/ آگاه به انرژی	
فاز مؤثر			Rreq, Rmain	
حالت گره‌ها		بیدار/ خواب		بیدار/ خواب/ کشف/ هدایت
پشتیبانی از تحرک	مناسب سرعت‌های پایین	در سرعت‌های بالا کارایی کاهش می‌یابد		در مقایسه با CEC بهتر و در تحرک بالا انرژی کارامدتر

گرید در شبکه موردی سیار می‌باشد. در این روش یک گره در هر گرید به عنوان رهبر گرید انتخاب می‌شود که وظیفه مسیریابی، انتقال بسته‌ها و عملیات حفظ گرید را بر عهده دارد. رهبر گرید به سایر گره‌های گرید امکان می‌دهد زمانی که به عنوان مبدأ یا مقصد در ارتباطات مشارکت ندارند به خواب بروند.

- کنترل ساختار مبتنی بر حالت خواب

کنترل ساختار مبتنی بر خواب [۱۷] عبارت است از مجموعه‌ای از الگوریتم‌های سبز مبتنی بر کنترل ساختار که هدف آن مینیمم‌نمودن مصرف انرژی از طریق خاموش‌نمودن گره‌های اضافی در شبکه است.

دو الگوریتم صرفه جویی انرژی مبتنی بر خوشه (CEC) [۱۸]، با نام‌های MCEC و PSToC ارائه شده است.

در CEC گره‌ای که بیشترین طول عمر را بین همسایه‌هایش دارد خود را به عنوان سرخوشه معرفی می‌کند. گره غیر سرخوشه‌ای که پیام‌های سرخوشه را از بیش از یک سرخوشه دریافت کرده است خود را به عنوان دروازه خوشه اعلان می‌کند. همه گره‌ها به جز گره‌های سرخوشه و دروازه برای صرفه‌جویی انرژی به خواب می‌روند. الگوریتم شامل سه فاز است: انتخاب سرخوشه و دروازه و تعیین چرخه وظیفه.

MCEC برای حل مسئله زنجیره (سرخوشه انتخابی در دامنه ارتباطی یک عضو معمولی نیست، این گره بدون سرخوشه رها می‌شود) در CEC ارائه شده است. در این الگوریتم، یک گره بدون سرخوشه قوی‌ترین گره را از میان همسایه‌هایش به عنوان سرخوشه انتخاب نموده و به این همسایه در مورد نقش سرخوشه اطلاع‌رسانی می‌کند.

در راه حل دیگری که برای غلبه بر مسئله زنجیره توسط PSToC ارائه شده است هر عضو به صورت احتمالی به خواب تغییر حالت می‌دهد. این امر از مسئله زنجیره ناشی از تغییرات همسایگی اجتناب می‌کند. در PSToC هر عضو احتمال سرخوشه شدن در آینده را بر اساس تعداد همسایه‌های قوی‌تر خود و فاصله آنها تخمین می‌زند. این احتمال، میزان شایستگی جهت خواب‌رفتن را طبق نیازهای پیش‌بینی شده تعیین می‌کند.

- Nema-AODV

این الگوریتم مسیریابی مبتنی بر تقاضای موردی ارائه شد که انرژی را بین گره‌ها به نوعی متعادل بالانس می‌کند که یک سطح انرژی مینیمم بین آنها حفظ شود و طول عمر شبکه افزایش یابد. الگوریتم ارائه‌شده در فاز کشف و حفظ مسیر عمل می‌کند. در این روش یک حد آستانه انرژی مینیمم برای یک گره سیار تنظیم شده و تا زمانی که گره به این حد آستانه رسید به حالت خواب می‌رود و انرژی را ذخیره می‌کند و در زمان ممکن به شبکه می‌پیوندد [۱۹].

- DPS

پروتکلی برای فاز حفظ مسیر شبکه موردی سیار است که حفظ مسیر را در DSR با آگاهی از توان بهبود می‌بخشد. این پروتکل با نام تغییر مسیر پویا اصلاحی است از پروتکل DSR و به گره‌هایی که زیر بارکاری بیشتری قرار داشته‌اند اجازه می‌دهد پیش از این که یک خرابی پیوند به دلیل تمام‌شدن انرژی در آنها رخ دهد به خواب روند. در این پروتکل به گره‌هایی که تحت بار سنگین هستند اهمیت داده می‌شود و این گره‌ها تحت شرایطی به وضعیت خواب برده می‌شوند. به علاوه برای زنده نگه داشتن ارتباطات موجود، مسیرهای جایگزین به صورت پویا انتخاب می‌شوند [۲۰].

- GAF و VGA

پروتکل‌های GAF[1] [۲۱] و VGA[2] [۲۲] از گرید مجازی و اطلاعات موقعیت جهت بهبود صرفه‌جویی انرژی در شبکه موردی سیار استفاده می‌کنند. در طرح GAF شبکه به عنوان گریدهای مجازی در نظر گرفته می‌شود. گریدهای مجازی حاصل تقسیم شبکه به گریدهای همسایه‌ای است که برای هر دو گرید همسایه همه گره‌ها در یک گرید بتوانند با همه گره‌ها در گرید دیگر ارتباط داشته باشند. بنابراین همه گره‌ها در هر گرید از نظر مسیریابی معادل هستند. GAF از اطلاعات موقعیت و گریدهای مجازی برای مشخص‌نمودن گره‌های معادل استفاده می‌کند. به منظور صرفه‌جویی انرژی، گره‌های اضافی می‌توانند خاموش شوند. در این طرح، گره‌ای با بالاترین سطح انرژی در هر گرید، گره حاکم می‌شود و سایر گره‌ها یعنی برده‌ها برای تضمین وجود یک گره حاکم در هر گرید بین حالت خواب و گوش‌دادن تغییر وضعیت می‌دهند.

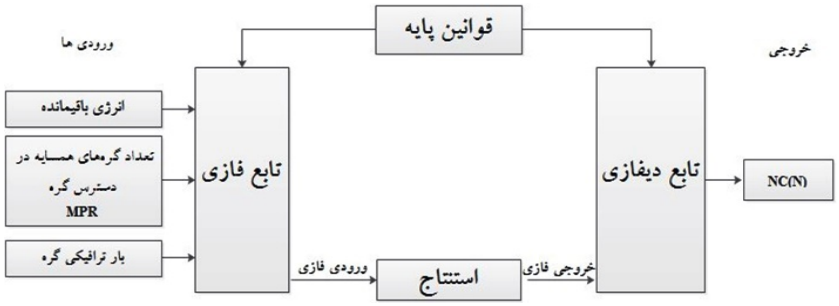
در نهایت به منظور دستیابی به یک معماری سبز، نیاز است این مکانیزم‌ها مقایسه و بررسی شوند که کدام محدودیت‌ها در یک پروتکل توسط دیگر پروتکل‌ها آدرس‌دهی شده و کدام مشخصات برای یک رویکرد سبز بهتر هستند. برای این منظور، جدول ۱ ارائه می‌گردد و در انتها به منظور نقطه شروعی برای توسعه الگوریتم‌های سبز نکته زیر می‌تواند از این بخش برداشت شود:

– یک پروتکل سبز باید از اطلاعات جهانی برای تخمین زمان و مدت خواب رفتن گره‌ها استفاده نماید. به دلیل ذات پویای شبکه موردی سیار، ساختار این شبکه به طور مداوم تغییر می‌کند و یک گره که در حالت خواب به سر می‌برد ممکن است در فاصله زمانی کوتاهی برای مشارکت در ارسال ترافیک نیاز باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود زمان خواب متناوب بوده و هر گره این زمان را بسته به شرایط شبکه افزایش یا کاهش دهد و همان طور که پیش از این گفته شد، با افزایش هزینه گذر خواب/ بیداری توان صرفه‌جویی شده کاهش می‌یابد. بنابراین در رویکردهای سبز باید به این هزینه توجه شود.

۴- روش مسیریابی سبز پیشنهادی

در بخش قبل به بررسی پروتکل‌های زمان‌بندی خواب سبز که برای شبکه موردی سیار ارائه شده‌اند پرداختیم. این مکانیزم‌ها به دنبال کارامدی انرژی بوده و سعی در کاهش مصرف انرژی شبکه و در پی آن کاهش انتشارات دی‌اکسید کربن بوده‌اند. دیدیم که بهبود کارامدی انرژی در یک

1. Geographical Adaptive Fidelity
2. Virtual Grid Aided Routing Scheme



شکل ۲: طرحی از سیستم فازی پیشنهادی.

سیستم ارتباطی هزینه‌هایی نیز دارد. در واقع زمانی که یک سیستم ارتباطی انرژی کارامد طراحی می‌شود باید اثر این کارامدی بر روی سایر معیارها نیز در نظر گرفته شود. در این بخش، روش G²FR[1] به عنوان یک روش مسیریابی سبز برای شبکه موردی سیار ارائه می‌گردد. راه حل ارائه‌شده از اطلاعات جمع‌آوری شده در شبکه برای کمک به تصمیم‌گیری‌های بهتر توسط گره‌ها بهره می‌گیرد.

G²FR با استفاده از روش فازی و الگوریتم ژنتیک قادر است مصرف انرژی را در کل شبکه با به خواب بردن گره‌های بیکار تا اندازه قابل توجهی کاهش دهد و هم‌زمان به پارامترهای کیفیت سرویس توجه داشته باشد در حالی که تاکنون فقط با دیدگاه کیفیت سرویس روی مسیریابی OLSR در شبکه‌های MANET تحقیقاتی صورت گرفته و در کل هدف تحقیقاتی که در خصوص انرژی در این حوزه انجام شده، گره‌ها را در مسیر به صورتی انتخاب می‌کند که بارکاری به صورت متوازن روی آنها توزیع گردد تا انرژی گره‌ها دیرتر تمام شده و بدین ترتیب طول عمر شبکه افزایش یابد. هرچند ممکن است انرژی مصرفی کل شبکه کاهشی نداشته باشد اما هدف پژوهش حاضر این بوده که با به خواب بردن گره‌ها در زمان‌های مناسب مصرف انرژی شبکه را کاهش و آلودگی زیست‌محیطی ناشی از آن را به واسطه این کاهش مصرف انرژی کاهش دهد. در این مقاله تحقیقات خود را بر روی پروتکل مسیریابی OLSR انجام می‌دهیم به دلیل آن که الگوریتمی استاندارد و کلاسیک بوده و بسیاری دیگر از پروتکل‌های مسیریابی بر مبنای آن توسعه یافته و عمل می‌نمایند و علاوه بر استفاده در شبکه موردی سیار در شبکه‌های مش نیز استفاده می‌گردد. لذا در ادامه، پروتکل مذکور را به صورت اجمالی معرفی می‌نماییم.

- پروتکل مسیریابی حالت پیوند بهینه (OLSR)

الگوریتم OLSR[2] [۲۳] جهت بهبود پروتکل‌های حالت پیوند کلاسیک شبکه بی‌سیم موردی طراحی شد. این بهینه‌سازی با انتخاب گره‌های محوری که رله‌های چندنقطه‌ای (MPR)[3] نامیده می‌شود صورت می‌پذیرد. در این الگوریتم ابتدا هر گره مجموعه‌ای از همسایه‌های یک‌گامی خود را که کل همسایه‌های دوگامی‌اش را پوشش می‌دهد تحت عنوان رله‌های چندنقطه‌ای انتخاب می‌کند. این نقاط تنها نقاطی هستند که در شبکه اجازه پخش اطلاعات را دارند و باعث کاهش سربار شبکه و کاهش ارسال بسته‌های کنترلی می‌شوند. پس از آن اولین اقدام این است که همسایه‌هایش را شناسایی کند که این کار را با ارسال بسته سلام به همسایه‌های اطراف هر گره انجام می‌دهد. از این طریق هر گره، گره‌های اطرافش را شناسایی کرده و با اطلاعات به دست آمده برای خودش جدولی می‌سازد و اطلاعات ارتباط خود با همسایه‌هایش را درون جدول قرار می‌دهد. در مرحله بعد اطلاعات خود را به همراه شماره ترتیب در قالب بسته TC[4] ارسال می‌نماید. البته انتقال بسته‌های TC تنها از طریق گره‌های MPR انجام می‌شود. به این طریق کل گره‌های موجود در شبکه از اتصالات موجود و نحوه ارتباط با هر گره آگاهی دارند که اطلاعات مربوط در جدولی برای هر گره ذخیره می‌شود. بعد از این مرحله هر گره جدول مسیریابی در اختیار دارد که بهترین مسیر به گره‌های اطراف را از طریق دایکسترا انتخاب می‌کند و در این صورت شبکه به حالت پایداری می‌رسد. با عوض‌شدن جای گره‌ها عملیات بالا دوباره تکرار می‌گردد و جداول به روز می‌شوند.

۴-۱ محاسبه ارزش فازی هر گره

هدف روش فازی [۲۴] و [۲۵] انتخاب سرخوشه مناسب در دورهای بعدی شبکه است. بالاترین انرژی باقیمانده، تعداد گره‌های زیرمجموعه MPR و نرخ ترافیک گره به عنوان ورودی‌های سیستم فازی جهت محاسبه هزینه گره n در نظر گرفته شده‌اند. این هزینه مطابق شکل ۲ تعریف می‌گردد: الف) انرژی باقیمانده گره n، ب) تعداد گره‌های زیرمجموعه MPR که وابسته به تعداد اعضای مرتبط به یک MPR در حالت تک‌گامی است و ج) نرخ ترافیک گره که توسط پیام همه‌پخشی MPRها به دست می‌آید.

اهداف این روش مطابق زیر بیان می‌گردد:

- تعیین زمان خواب و بیدار گره‌های MPR به جهت کاهش مصرف انرژی و کاهش هزینه‌های سربار
- مدیریت توپولوژی شبکه با رویکردی پویا
- انجام مسیریابی توزیع‌شده در گره‌های شبکه

بدین ترتیب هر گره در شبکه در هر واحد زمانی یک وضعیت مشخص خواهد داشت که برگرفته از سه پارامتر ذکرشده در بازه زمانی t ثانیه خواهد بود اما این سه پارامتر پس از ورود به سیستم فازی پیشنهادی و انجام عملیات فازی و تطابق با قوانین تبدیل به خروجی سیستم فازی می‌گردند که به عنوان هزینه گره یا همان $NC_{(n)}$ در نظر گرفته خواهد شد و از (۱) محاسبه می‌گردد

$$NC_{(n)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Rule_i \times C_i}{\sum_{i=1}^{n} Rule_i} \qquad (1)$$

پس از محاسبه NC برای هر گره MPR و مقایسه آن با یک سطح آستانه می‌توان تصمیم گرفت که گره MPR مذکور شایستگی رفتن به

1. Green Genetic Fuzzy Routing
2. Optimized Link-State Routing
3. Multi Point Relay
4. Topology Control

حالت خواب در بازه زمانی آتی را دارد یا خیر؟ بدین صورت اگر تصمیم بر خواب گره گرفته شد، گره منتخب میزان فازی گره‌های همسایه را محاسبه نموده و به اطلاع تمامی همسایگان تک‌گامی و دوگامی خود خواهد رساند. در این مرحله هر گره که می‌خواهد ارتباط خود را برای t ثانیه آتی از MPR والد خود قطع کند، به دنبال بالاترین ارزش فازی خواهد گشت و گره‌ای را به عنوان گام بعدی برای خود برمی‌گزیند. در صورت عدم وجود گره تک‌گامی یا دوگامی برای گره عضو، گره MPR نمی‌تواند به حالت خواب رود چرا که ارتباط گره مذکور با شبکه به طور کل برای مدت t ثانیه قطع خواهد شد.

همان طور که از منطق فازی و مدل مثلثی برمی‌آید هر پارامتر ورودی این سیستم شامل یک نمودار مثلث‌بندی است. در هر نمودار با توجه به مثلث‌های مشخص و یکسان می‌توان به رفتار یک پارامتر در مقادیر متغیر محور x مقادیری دیگر را در محور y نسبت داد. هر نقطه از محور x دارای دو مقدار روی محور y است. میزان انرژی باقیمانده می‌تواند در پنج سطح قرار گیرد که از Very High، High، Medium، Low و Very Low تشکیل شده که میزان انرژی باقیمانده هر گره شبکه می‌تواند در یکی از این سطوح یا نهایتاً در دو سطح متوالی قرار گیرد. هر قدر میزان انرژی باقیمانده گره بالاتر باشد نشان‌دهنده پرارزش بودن گره است.

ورودی دوم سیستم فازی پیشنهادی، تعداد گره‌های همسایه در دسترس گره MPR و به عبارتی دیگر تعداد همسایگان تک‌گامه و دوگامه که در زیردرخت هر MPR وجود دارد می‌باشد. هر قدر این مقدار برای یک گره بالاتر باشد گره مذکور شانس کمتری برای رفتن به خواب یا انتخاب در مسیریابی خواهد داشت.

اما ورودی سوم سیستم فازی پیشنهادی را نرخ ترافیک موجود در گره در بازه زمانی Δt اخیر در نظر می‌گیریم. بدیهی است هر قدر این مقدار زیادتر باشد گره شانس کمتری در انتخاب برای خواب‌رفتن و شرکت در مسیریابی خواهد داشت.

ارزش هر حالت از وضعیت قوانین در بازه [۰,۱] است. هرچه میزان این ارزش بیشتر باشد حالت مذکور وزن بالاتری در رابطه پیشنهادی ما دارد. پس طبق آنچه گفته شد به ازای هر مقدار عددی از سه پارامتر ورودی سیستم فازی حالتی را متصور شده‌ایم. هر کدام از پارامترها بر اساس تعداد سطوح خود در پارامتر دیگر ضرب می‌شود تا تمامی حالات ممکن به دست آید. مطابق آنچه گفته شد هر پارامتر در پنج سطح دسته‌بندی شده است. پس در هر لحظه با هر میزان ورودی مسلماً در یکی از حالات موجود در این ۱۲۵ حالت جا می‌گیرد اما برای هر لحظه ۸ حالت را که وابسته به سه پارامتر ورودی بود داریم. بعد از متناظرکردن هر حالت ممکن در جدول قوانین یک میزان ارزش خاص به آن قانون اعمال خواهد شد و به عبارتی دیگر ارزش هر یک از ۸ حالت فوق ممکن است متفاوت باشد. پس در کسری از عدد ۱ ضرب می‌شوند تا مقدار دقیق ارزش‌گذاری را داشته باشیم.

۴-۲ یافتن مناسب‌ترین مسیر بین گره‌های MPR به کمک الگوریتم ژنتیک با حفظ کیفیت سرویس

مسیریابی یکی از مهم‌ترین موضوعاتی است که تأثیر زیادی بر کارایی شبکه دارد. یک الگوریتم مسیریابی ایده‌آل برای یافتن مسیر بهینه ارسال بسته در زمان مشخص تلاش می‌کند تا کیفیت خدمات را برآورده سازد و ما نیز برآنیم علاوه بر کاهش مصرف انرژی و انتشار آلایندگی محیط زیست، یک پروتکل مسیریابی Qos-Aware ارائه نماییم.

چندین الگوریتم جستجو برای یافتن مسئله کوتاه‌ترین مسیر وجود دارند: الگوریتم جستجوی اول سطح، الگوریتم دایکسترا، الگوریتم بلمن فورد و چند مورد دیگر. این الگوریتم‌ها می‌توانند مسئله کوتاه‌ترین مسیر را در زمان چندجمله‌ای حل کنند اما پیچیدگی محاسباتی بالایی برای ارتباطات زمان حقیقی دارند که به دلیل تغییر سریع توپولوژی شبکه است. در اکثر شبکه‌های سوئیچینگ بسته‌ای، برخی از انواع محاسبات یافتن کوتاه‌ترین مسیر توسط الگوریتم‌های مسیریابی در لایه شبکه به کار می‌روند. الگوریتم ژنتیک یکی از الگوریتم‌های جستجوی تصادفی است که برای حل مسایل کلاسیک بهینه‌سازی خطی، محدب، گسسته و غیر خطی بسیار کاربرد دارد و از طبیعت الهام گرفته است. در طبیعت از ترکیب و ادغام کروموزوم‌های بهتر، نسل‌های بهتری پدید می‌آیند که در این بین گاهی اوقات جهش‌هایی نیز در کروموزوم‌ها روی می‌دهد که باعث بهترشدن نسل بعدی می‌شود [۲۶].

استفاده از الگوریتم سنتی دایکسترا در OLSR، مسیریابی را فقط بر اساس کمترین تعداد گام انجام می‌دهد و کیفیت خدمات را در امر مسیریابی در نظر نمی‌گیرد که ما در روش پیشنهادی خود از الگوریتم ژنتیک با اندازه ورودی و تکرار کم (جهت افزایش سرعت اجرا و کاهش پیچیدگی الگوریتم ژنتیک) به منظور جبران این ضعف بهره می‌بریم.

- نمونه‌ای از پیداکردن مسیر با ژنتیک

شبکه‌ای به صورت $G=(V,E)$ که یک گراف متصل با N گره است در نظر گرفته می‌شود، معیار بهینه‌سازی هزینه مسیر میان گره‌ها و هزینه کلی، مجموعه هزینه گام‌های مجزا است. هدف، یافتن مسیری با کمترین هزینه کلی بین گره مبدأ V_{src} و مقصد V_{dest} است که مربوط به V خواهد بود. الگوریتم ژنتیک مسیریابی را از مبدأ بر حسب تقاضا و کارامدی ارائه می‌کند و در نهایت داده‌ها روی مسیر ایجادشده ارسال می‌شوند که تابع وزن پیشنهادی ما مطابق (۲) بیان می گردد

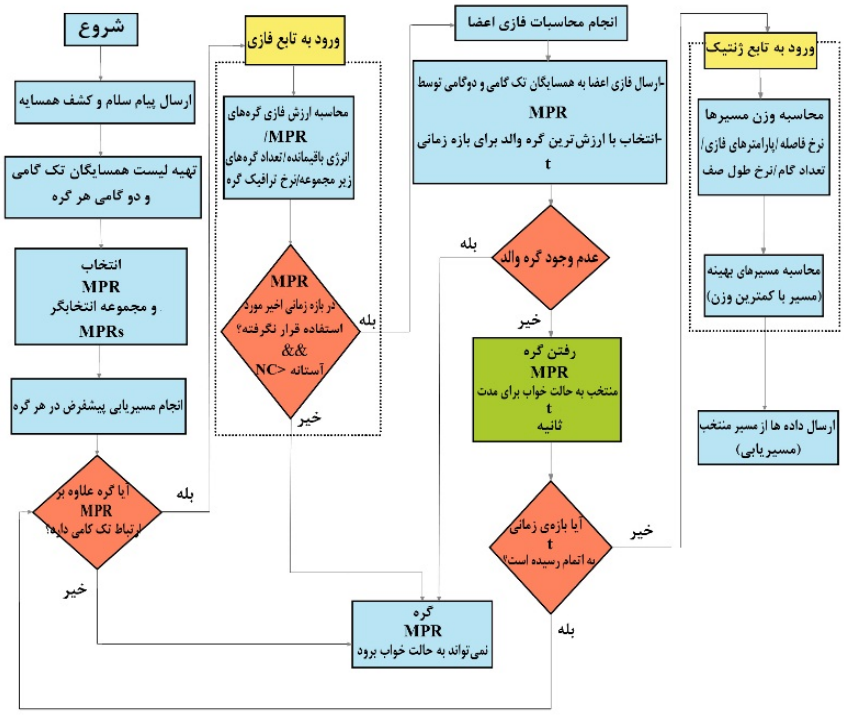
$$W_i = \frac{\frac{1}{\sum_{i=1}^{j} NC_n} + \sum_{i=1}^{j} Q_L + \sum_{i=1}^{j} T_L + \frac{1}{\sum_{i=1}^{j} R_E} + \sum_{i=1}^{j} D_S}{HopCount} \qquad (۲)$$

که W_i مقدار وزن مسیر، NC_n مقدار ارزش فازی گره، Q_L نرخ طول صف، T_L نرخ بار ترافیکی روی گره، R_E مقدار انرژی باقیمانده، D_S فاصله بین گره‌ها و $HopCount$ تعداد گام است. هرچه مقدار W_i کمتر باشد نشان‌دهنده کیفیت مسیر خواهد بود و این یک دید کلی نسبت به یک مسیر است. لذا برای کنترل و ترکیب گام به گام مسیر از الگوریتم ژنتیک برای انتخاب مسیر مناسب و آگاه از ازدحام و مبتنی بر کیفیت سرویس استفاده می‌کنیم که مطابق شکل ۳ روند اجرای روش مسیریابی سبز پیشنهادی به نمایش گذاشته خواهد شد.

۵- ارزیابی مسیریابی سبز پیشنهادی

در بخش قبل، یک روش سبز برای حل مسایل یادشده در مورد مکانیزم موجود مسیریابی در شبکه موردی سیار با تکیه بر پروتکل OLSR ارائه نمودیم و حال به منظور بررسی عملکرد این طرح، شبیه‌سازی‌ها توسط نرم‌افزار NS۲ انجام شده و نتایج شبیه‌سازی‌ها را بررسی می‌کنیم. در این بخش روش خود را با عنوان GOLSR[1] پیاده‌سازی کرده و با استفاده از معیارهای ارزیابی موجود برای پروتکل‌های شبکه‌های موردی سیار ارزیابی می‌گردد. جهت ارزیابی فایل‌های خروجی

1. Green OLSR



شکل ۳: دیاگرام روش پیشنهادی.

جدول ۲: پارامترهای شبیه‌سازی.

پارامترها	مقدار
پروتکل انتقالی	TCP
پروتکل مسیریابی	GOLSR/OLSR
نوع صف	FIFO
اندازه شبکه	۳۰۰×۳۰۰
نوع آنتن	Omni-Antenna
زمان شبیه‌سازی	۱۰۰ s
تعداد گره‌های شبکه	۱۰۰
موقعیت گره‌ها	تصادفی و متحرک
دامنه ارسال	۴۰ m
طول صف	۶۴ Packet
نرخ ارسال داده (CBR)	۴ pkt/s
اندازه هر بسته	۵۱۲ Bytes
انرژی اولیه گره	۱۰۰۰ J
پهنای باند	۱۱ Mbps
ماکسیمم سرعت	۱٫۵ m/s
زمان توقف	۵ s
مصرف توان (حالت ارسال)	۰٫۶۰۶ J
مصرف توان (حالت دریافت)	۰٫۳۹۵ J
مصرف توان (حالت خواب)	۰٫۰۲ J
مصرف توان (حالت بیکار)	۰٫۳۳۵ J
مصرف توان حالت خواب/ بیدار)	۰٫۰۰۲ J
مدل انتشار رادیو	TowRay Ground
مدل تحرک	Random Waypoint

برای هر گره و میانگین‌گیری نتایج، بازه اعتماد[1] ۹۵٪ لحاظ گردیده و آزمایشات به تعداد ۴۰ بار انجام شد. نمودارهای تولیدشده توسط برنامه کمکی Excel نمایش داده خواهد شد.

1. Confidence Interval

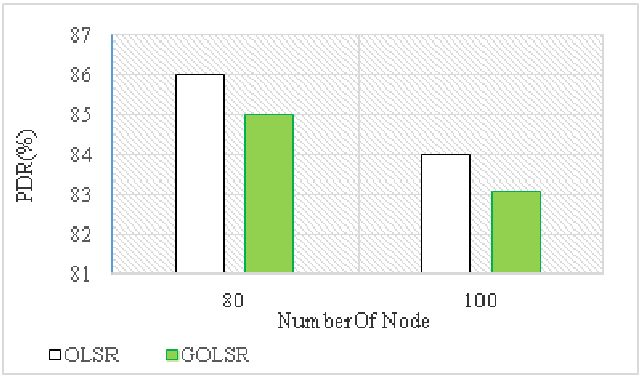
۵-۱ محیط شبیه‌سازی

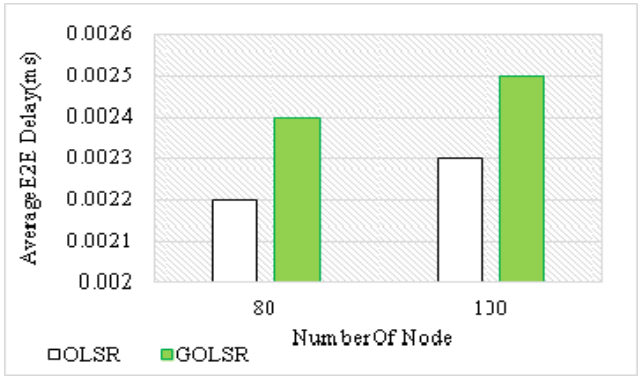
در شبیه‌سازی تابع هماهنگی توزیعی IEEE ۸۰۲.۱۱ به عنوان پروتکل کنترل دستیابی رسانه استفاده می‌شود. تراکم شبکه تأثیر مستقیمی بر روی عملکرد پروتکل پایه و پیشنهادی خواهد داشت به این صورت که فاصله بین گره‌های در دسترس شبکه نقش MPR را برای گره‌ها تغییر خواهد داد. این فاصله بین گره‌ها ممکن است در برخی پروتکل‌های اکتشافی نظیر AODV تأثیر خاصی نداشته باشد اما در پروتکل OLSR قرار است گره‌هایی به عنوان MPR شناخته شوند که وظیفه جمع‌آوری اطلاعات وضعیت شبکه را داشته و نقش محوری را ایفا کنند. افزایش فاصله بین گره‌ها احتمال دسترسی به گره‌های MPR را برای هر گره عضو شبکه کاهش داده و مسیریابی را با مشکل مواجه خواهد کرد. ضمناً محور این پژوهش بر روی کاهش مصرف انرژی در شبکه با استفاده از رویکرد خواب و بیدار گره‌های MPR است، لذا کاهش امکان دست‌یابی به گره‌های MPR که با وجود فاصله گره‌ها صورت گرفته است این پروتکل را با چالش مواجه خواهد کرد. پس از انجام آزمایش‌هایی دریافتیم که رویکرد پیشنهادی در شبکه‌هایی با تراکم بالا قابل استفاده بوده و می‌تواند اهداف ذکرشده در موضوع تحقیق را پوشش دهد، بنابراین محیط شبیه‌سازی را۳۰۰×۳۰۰ در نظر گرفته‌ایم تا کارایی روش پیشنهادی را نشان دهیم. در ادامه جدول ۲ پارامترهای شبیه‌سازی را به صورت خلاصه نشان می‌دهد.

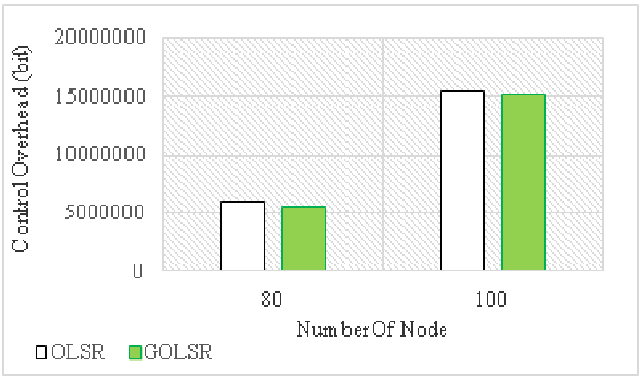
۵-۲ معیارهای ارزیابی و نتایج

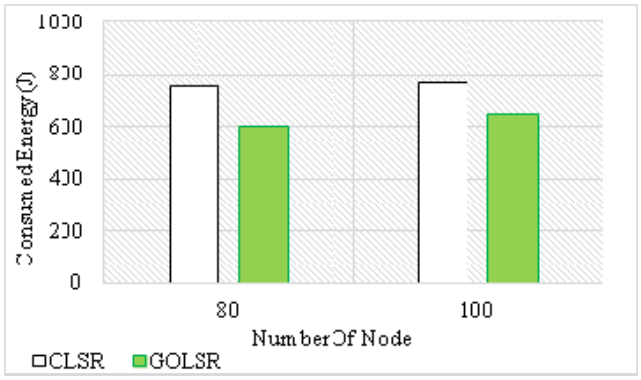
اثر طرح ارائه‌شده را بر روی چهار معیار مربوط به کارایی شبکه که عبارت هستند از نرخ تحویل بسته، میانگین تأخیر انتها تا انتهای بسته‌ها، سربار مسیریابی و همچنین میزان انرژی مصرف‌شده در تمام شبکه بررسی کرده و آن را با OLSR استاندارد مقایسه خواهیم نمود.

برای این منظور، میزان انرژی مصرفی توسط عملکردهای مختلف کارت شبکه مطابق با نتایج بررسی‌های آزمایشگاهی که بر روی واسط

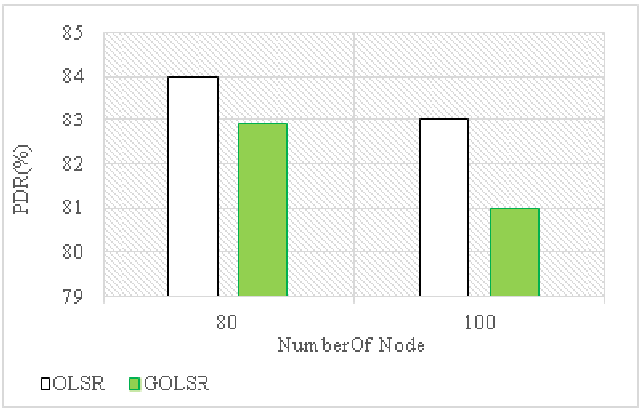


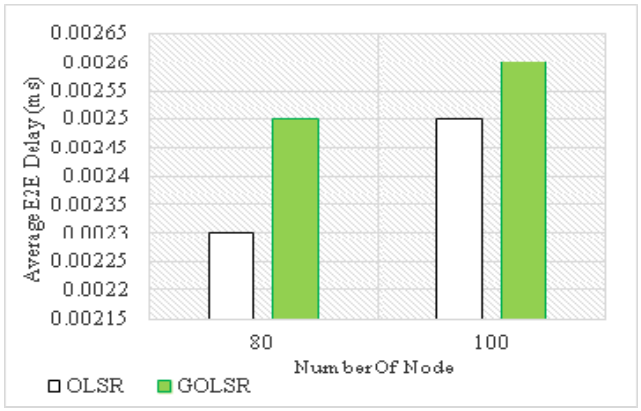


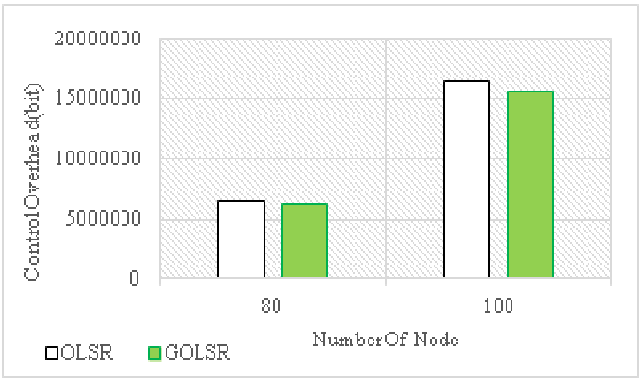


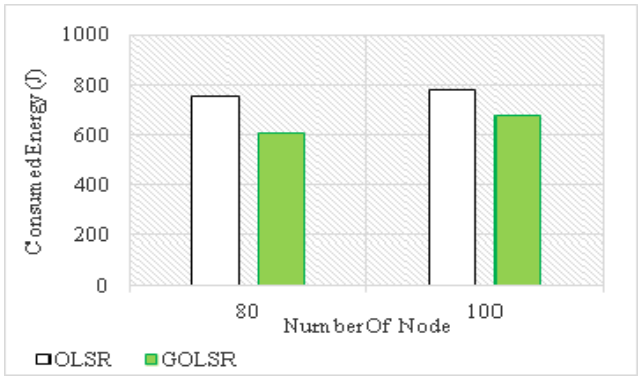


شکل ۴: تأثیر تعداد گره‌ها، تعداد ارتباطات ۱۰ و سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه.







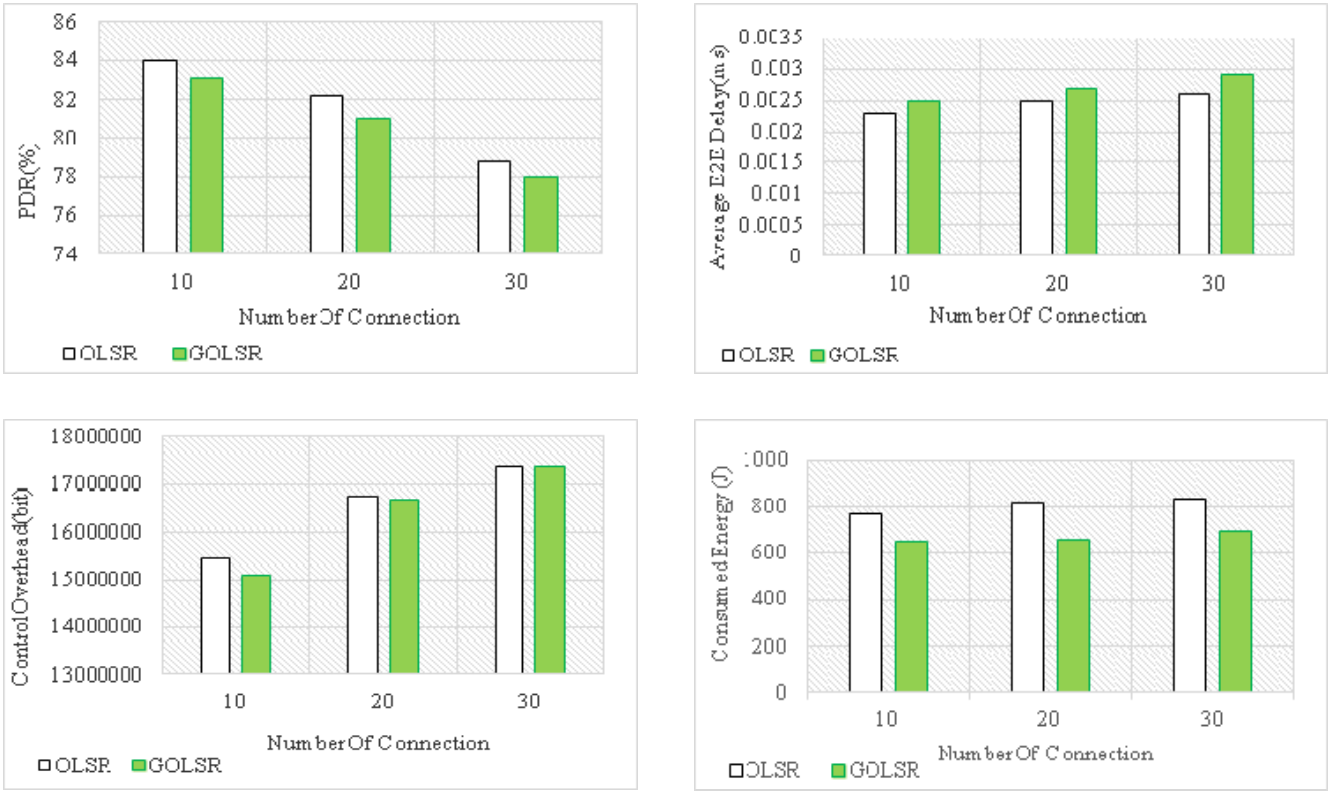


شکل ۵: تأثیر تعداد گره‌ها، تعداد ارتباطات ۱۰ و سرعت ۵ متر بر ثانیه.

رادیویی IEEE ۸۰۲.۱۱ Lucent ارائه شده است تنظیم نموده‌ایم. هدف از این شبیه‌سازی ارزیابی کارایی مسیریابی ارائه‌شده در پروتکل پیشنهادی می‌باشد. در نهایت، میزان دی‌اکسید کربن کاهش یافته و در نتیجه استفاده از پروتکل پیشنهادی محاسبه خواهد شد.

۵-۲-۱ تأثیر تعداد گره‌ها

نتایج حاصل از شبیه‌سازی با تراکم‌های متفاوت در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. برای این مقایسه‌ها، تعداد ارتباطات ۱۰ در نظر گرفته شده و اثر تراکم‌های مختلف شبکه را برای سرعت‌های ۱/۵ و ۵



شکل ۶ تأثیر تعداد ارتباطات، تعداد گره‌ها ۱۰۰ و سرعت ۱٫۵ متر بر ثانیه.

متر بر ثانیه گره‌ها ارزیابی می‌نماییم. نمودار نرخ تحویل بسته‌ها (PDR) در این شکل‌ها نشان می‌دهد که با افزایش تعداد گره‌ها این پارامتر کاهش می‌یابد و همان طور که انتظار می‌رود، ماکسیمم سرعت بالاتر گره‌ها منجر به PDR کمتر می‌گردد. در همه سناریوها با توجه به مسئله خواب‌رفتن گره‌ها انتظار نرخ کمتری از PDR می‌رفت که شبیه‌سازی‌ها نیز چنین مسئله‌ای را نشان می‌دهند.

نمودار تأخیر E۲E برای تراکم‌های مختلف در شکل‌های مذکور نشان می‌دهد که این تأخیر برای تعداد بیشتری از گره‌ها بدون توجه به پروتکل به کار رفته به دلیل ارسال‌های دوباره و تأخیر دستیابی به رسانه افزایش می‌یابد. GOLSR منجر به تأخیرهای بیشتری به دلیل سربار کنترلی زیاد و انتظار بیشتر برای محاسبه مسیر بهتر می‌شود. همان طور که انتظار می‌رود، میانگین تأخیر E۲E نیز در سرعت‌های بالاتر برای همه سناریوها افزایش می‌یابد. نمودارهای سربار کنترلی در این شکل‌ها نشان می‌دهند که این سربار برای تراکم‌های بالاتر پروتکل OLSR افزایش می‌یابد. این موضوع به دلیل افزایش تصادم‌های دستیابی به رسانه می‌باشد. برای همه سناریوها، مکانیزم پیشنهادی ما مقدار کمتری سربار در مقایسه با پروتکل مبنا تولید می‌کند. همان طور که انتظار می‌رود به دلیل به روز رسانی مسیرها این سربار برای گره‌های با سرعت ۵ m/s بیشتر از شرایط با سرعت ۱٫۵ m/s ثانیه است. این شکل‌ها همچنین نشان می‌دهد که GOLSR منجر به صرفه‌جویی انرژی قابل توجهی نسبت به OLSR می‌شود تا جایی که در برخی از سناریوها به حدود ۲۰ درصد نیز می‌رسد.

۵-۲-۲ تأثیر تعداد ارتباطات

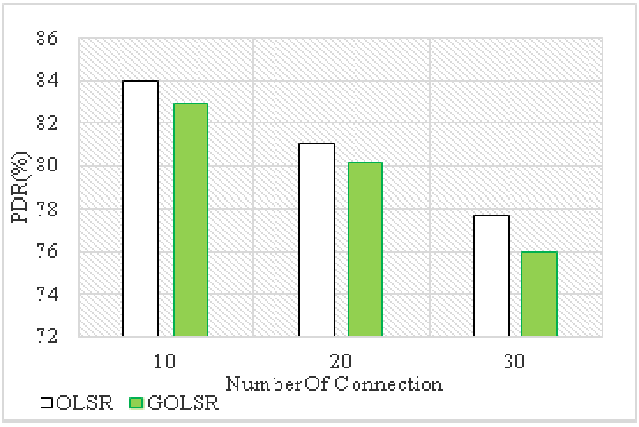
شکل‌های ۶ و ۷ تأثیر تعداد مختلفی از ارتباطات را بر روی کارایی OLSR و GOLSR نشان می‌دهند. برای این مقایسه، تعداد گره‌ها ۱۰۰ در نظر گرفته شده و ماکسیمم سرعت گره‌ها ۵ m/s تنظیم شده است. مقادیر PDR بدون توجه به سناریوی به کار گرفته شده در هر دو شکل با افزایش ترافیک شبکه کاهش یافته‌اند. این مورد به دلیل تلاش برای دستیابی به رسانه و تصادم است. نمودار تأخیر برای تعداد ارتباطات بیشتر نیز به همین صورت در هر دو پروتکل روندی افزایشی را نشان می‌دهد. مقدار سربار نیز با افزایش ترافیک بدون توجه به پروتکل مسیریابی به کار رفته افزایش را نشان می‌دهد که در پروتکل پیشنهادی به صورت جزئی بهبود یافته است. همچنین می‌بینیم که مقدار انرژی مصرف‌شده در GOLSR کاهش قابل ملاحظه‌ای نسبت به OLSR دارد که ناشی از استفاده حالت خواب و در نتیجه کاهش چشم‌گیر بیکاری گره‌ها می‌باشد.

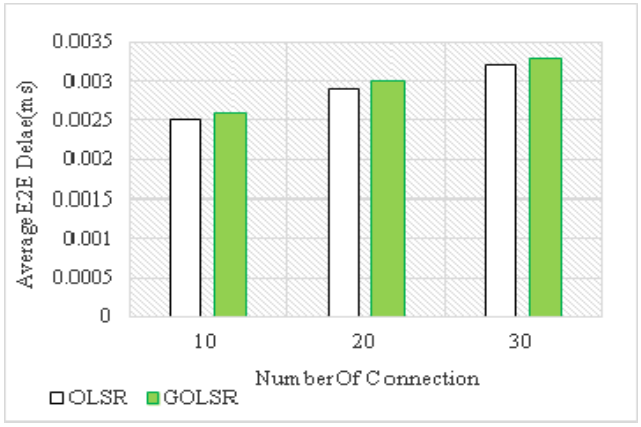
۵-۲-۳ مقایسه مصرف انرژی پروتکل GOLSR و OLSR

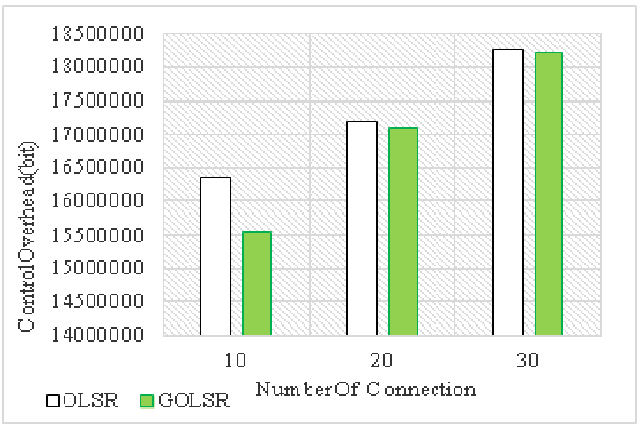
در این بخش انرژی مصرف‌شده توسط OLSR و پروتکل پیشنهادی GOLSR را در ۱۰۰ ثانیه شبیه‌سازی مقایسه می‌کنیم. اثر تعداد گره‌ها بر روی مصرف انرژی در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. در این شکل‌ها به دلیل افزایش تعداد خرابی‌های پیوند در سرعت بالاتر مصرف انرژی افزایش‌یافته است. شکل‌های ۶ و ۷ اثر تعداد ارتباطات را روی مصرف انرژی نشان می‌دهند. همان طور که انتظار می‌رود افزایش تعداد ارتباطات به دلیل افزایش تعداد تعاملات شبکه سبب افزایش مصرف انرژی مستقل از پروتکل استفاده‌شده گردیده است.

در نهایت این نتایج نشان می‌دهند که GOLSR مقدار قابل توجهی از انرژی را در مقایسه با OLSR در ازای افزایش مقدار کمی E۲E Delay (حدود ۰٫۰۰۰۱ میلی‌ثانیه) و کاهش ناچیزی در نرخ تحویل بسته (حدود ۱٫۱ درصد) صرفه‌جویی کرده است. این نتیجه حاصل از استفاده زمان‌بندی خواب GOLSR است. در این پروتکل با استفاده از تصمیم‌گیری درست برای خواب‌رفتن و محاسبه مدت خواب با توجه به سابقه نیاز شبکه به گره در گذشته نزدیک توانسته‌ایم با تأثیر کمی بر روی سایر پارامترهای کارایی به حدود ۱۲ تا ۲۰ درصد صرفه‌جویی انرژی دست یابیم.

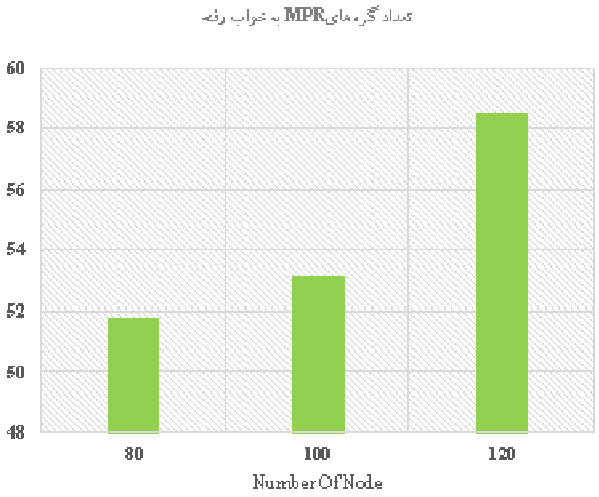
نظر به این که موضوع تحقیق کاهش مصرف انرژی شبکه با رویکرد خواب و بیدار در پروتکل پایه OLSR بوده است پس یکی از مهم‌ترین آزمون‌ها نرخ تعداد گره‌های MPR به خواب رفته به صورت پویا در شبکه







شکل ۷: تأثیر تعداد ارتباطات، تعداد گره‌ها ۱۰۰ و سرعت ۵ متر بر ثانیه.



شکل ۸: تعداد گره‌های MPR به خواب رفته.

است. در این آزمون که نتایج آن در شکل ۸ بیان گردیده، مشاهده می‌شود که همواره می‌توان بیش از نیمی از گره‌های MPR را در حال خواب قرار داد بدون این که از راندمان شبکه کاسته شود.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، کارامدی روش G^{2}FR را با استفاده از معیارهای ارزیابی شناخته‌شده در حوزه شبکه‌های موردی سیار بررسی کردیم. روش مسیریابی سبز ارائه‌شده بر روی پروتکل مسیریابی OLSR نمونه‌سازی و با عنوان GOLSR با پروتکل OLSR مقایسه شد. کارایی پروتکل پیشنهادی را با استفاده از مجموعه شبیه‌سازی‌هایی مختلف ارزیابی کردیم. پنج معیار ارزیابی‌شده کارایی این پروتکل را با اندازه‌گیری توانایی آن در تحویل بسته‌ها، تأخیر، سربار کنترلی، انرژی مصرفی و میزان تعداد گره‌های MPR به خواب رفته در شبکه مبتنی بر OLSR نشان دادند. دیدیم که پروتکل پیشنهادی با افزایش در مقدار E۲E DELAY به صرفه‌جویی انرژی قابل ملاحظه‌ای دست یافته که این مقدار صرفه‌جویی انرژی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش آلودگی زیست‌محیطی تولیدی از این شبکه‌ها خواهد داشت.

مراجع

[1] H. P. Gupta and S. V. Rao, "DBET: demand based energy efficient topology for MANETs," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Devices and Communications, ICDeCom'11,* 5 pp., Feb. 2011.

[2] J. Y. Chung, "Green technology and service," in Proc IEEE. Int. Conf. on Management of E-Commerce and eGovernment, ICMECG'08, pp. xvii-xx, Oct. 2008.

[3] M. De Sanctis, E. Cianca, and V. Joshi, "Energy efficient wireless networks towards green communications," *Wireless Personal Communications*, vol. 59, no. 3, pp. 537-552, Feb. 2011.

[4] K. Bilal, *et al.*, "A survey on green communications using adaptive link rate," *Cluster Computing*, vol. 16, no. 3, pp. 575-589, Jul. 2013.

[5] M. Webb, "SMART 2020: enabling the low carbon economy in the information age," the Climate Group. London, 1.1, 1-1, Jun. 2008.

[6] C. Gunaratne, *et al.*, "Reducing the energy consumption of ethernet with adaptive link rate (ALR)," *IEEE Trans. on Computers,* vol. 57, no. 4, pp. 448-461, Feb. 2008.

[7] F. Dabaghi, Z. Movahedi, and R. Langar, "A survey on green routing protocols using sleep-scheduling in wired networks," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 77, pp. 106-122, Jan. 2017

[8] N. Fareena, A. Mala, and K. Ramar, "Mobility based energy efficient multicast protocol for MANET," *Procedia Engineering*, vol. 38, pp. 2473-2483, Sept. 2012.

[9] V. Rishiwal, *et al.*, "Power aware routing in ad hoc wireless networks," *J. of Computer Science & Technology*, vol. 9, no. 2, pp. 101-109, Jan. 2009.

[10] C. C. Chang and C. S. Chan, "A multi-channel MAC protocol with power control for multi-hop mobile ad hoc networks," *The Computer J.*, vol. 45, no. 1, pp. 101-110, Apr. 2005.
[11] J. Debbarma, *et al.*, "An efficient energy protocol for power conservation in mobile ad-hoc networks," in *Proc. IEEE Int. Symp. on Computational and Business Intelligence, ISCBI'13*, pp. 239-242, Aug. 2013.
[12] S. L. Tsao and C. H. Huang, "A survey of energy efficient MAC protocols for IEEE 802.11 WLAN," *Computer Communications*, vol. 34, no. 1, pp. 54-67, Jan. 2011.
[13] H. Diwanji and J. S. Shah, "Effect of MAC layer protocol in building trust and reputation scheme in mobile ad hoc network," in *Proc. IEEE Nirma University Int. Conf. on Engineering, NUiCONE'13,* 3 pp., Nov. 2013.
[14] S. Taneja, A. Kush, and A. Makkar, "Mobility model for power based AODV," *International J. of Information Sciences & Application*, vol. 2, no. 2, pp. 251-257, Nov. 2010.
[15] P. B. Pankajavalli and N. Arumugam, "BADSR: an enhanced dynamic source routing algorithm for MANETs based on ant and bee colony optimization," *European J. of Scientific Research*, vol. 53, no. 4, pp. 576-581, May 2011.
[16] C. C. Tuan and Y. C. Wu, "Triangular energy-saving cache-based routing protocol by energy sieving," *International J. of Distributed Sensor Networks*, vol. 8, no. 1, pp. 57-67, Jan. 2011.
[17] M. Shirali, N. Shirali, and M. R. Meybodi, "Sleep-based topology control in the ad hoc networks by using fitness aware learning automata," *Computers & Mathematics with Applications*, vol. 64, no. 2, pp. 137-146, Jul. 2012.
[18] A. Fathi and H. Taheri, "Enhance topology control protocol (ECEC) to conserve energy based clustering in wireless ad hoc networks," in *Proc. IEEE 3rd. Int. Conf. on Computer Science and Information Technology, ICCSIT'10,* vol. 9, pp. 356-360?, Jul. 2010.
[19] T. Nema, *et al.*, "Energy based AODV routing algorithm with sleep mode in MANETs," *International J. of Computer Applications*, vol. 58, no. 19, pp. 17-20, Aug. 2012.
[20] G. Bella, *et al.*, "Enhancing DSR maintenance with power awareness," *Computer Standards & Interfaces*, vol. 35, no. 1, pp. 107-113, Jan. 2013.
[21] S. Roychowdhury and C. Patra, "Geographic adaptive fidelity and geographic energy aware routing in ad hoc routing," in *Proc. Int. Conf. on Advances in Computer, Communication Technology & Applications*, vol. 1, pp. 309-313, 3-5 Aug. 2010.
[22] Z. Wang, H. Li, and J. Zhang, "Energy-efficient virtual grid aided routing for MANETs," *International J. of Pervasive Computing and Communications*, vol. 6, no. 3, pp. 272-285, Sept. 2010.
[23] H. Walia, E. Mandeep Singh, and R. Malhotra, "A review: mobile AdQ Hoc routing protocols," *International J. of Future Generation Communication and Networking*, vol. 9, no. 2, pp. 193-198, Oct. 2016.
[24] G. Chen, "Fuzzy logic in data modeling: semantics, constraints, and database design," Springer Science & Business Media, vol. 15, 2012.
[25] S. Effati and H. Abbasiyan, "Solving fuzzy linear programming problems with piecewise linear membership function," *Applications and Applied Mathematic*, vol. 5, no. 10, pp. 1601-1630, 2010-2012.
[26] M. Ayisha and J. Rangarajan, "Energy efficient multicasting using genetic algorithm," *Fuzzy Systems*, vol. 7, no. 2, pp. 54-57, Aug. 2015.

زینب موحدی تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی مهندسی کامپیوتر از دانشگاه سن دنی فرانسه در سال ۱۳۸۴ و در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی کامپیوتر به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۹۰ از دانشگاه پیر و ماری کوری فرانسه به پایان رسانده است و هم‌اکنون استادیار دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه علم و صنعت ایران می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: سیستم‌های توزیعی، شبکه‌های کامپیوتری، شبکه‌های بی‌سیم، امنیت شبکه‌های کامپیوتری، مخابرات سبز، شبکه‌های خودمختار، رایانش ابر، رایانش ابر موبایل، شبکه‌های مبتنی بر نرم‌افزار، اینترنت اشیاء، شهر هوشمند، مدل‌سازی اعتماد.

ایوب کریمی در سال ۱۳۸۶ مدرک کارشناسی مهندسی کامپیوتر- نرم افزار خود را از دانشگاه آزاد اسلامی تبریز- واحد هشترود و در سال ۱۳۹۵ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات- شبکه‌های کامپیوتری خود را از دانشگاه علم و صنعت ایران دریافت نمود. از سال ۱۳۸۷ تاکنون نام‌برده به عنوان مدرس در آموزش و پرورش و آموزش عالی و به عنوان کارشناس مسئول کنترل و هماهنگی عملیات در جمعیت هلال احمر کردستان مشغول به‌کار بوده و زمینه‌های علمی مورد علاقه ایشان شامل موضوعاتی مانند مدیریت شبکه‌های کامپیوتری، امنیت شبکه‌های کامپیوتری و پردازش تصویر می‌باشد.