

**A New QoS-Based Routing Protocol for Video Streaming in VANETs Using ACO Algorithm and Fuzzy Logic****Mohammad Vafaei<sup>1</sup>, PhD Student, Ahmad Khademzadeh<sup>2</sup>, Professor, Mohammad Ali Pourmina<sup>1</sup>, Associate Professor**

<sup>1</sup>Faculty of Mechanical, Electrical and Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran  
mohamad.vafaei@srbiau.ac.ir, pourmina@srbiau.ac.ir

<sup>2</sup>Iran Telecommunication Research Center, Tehran, Iran  
ahmad\_khademzadeh@yahoo.com, zadeh@itrc.ac.ir

**Abstract:**

The multi-path transmission is an appropriate transmission method for high data rate packets like video streaming. To provide video streaming with high quality, the video packets are divided into different frames for transmitting through various paths. Nevertheless, regarding the results of numerous inherent features of vehicular ad-hoc networks (VANETs), designing an efficient and stable routing protocol is difficult for various applications of VANETs. In particular, the dynamic nature of topology and intermittent connectivity make maintaining the quality of service (QoS) task very difficult. To provide QoS to entertainment applications and traffic safety in VANET, we offer a routing protocol based on the adaptive intersection with QoS support regarding delay, packet delivery ratio (PDR), and connectivity probability. To establish the best QoS routes, we considered the equivalent routing problem as the optimization problem and then proposed an algorithm based on ant colony optimization (ACO) for solving it. Furthermore, a fuzzy logic-based algorithm was employed to select the best next-hop vehicle by incorporating multiple metrics associated with the vehicle's position, link quality, and vehicle mobility. According to the simulation results, the proposed approach achieves the average PDR of more than 84.2%, the end-to-end delay of less than 3.58 s, the overhead of less than 15.65%, and the peak signal to noise ratio (PSNR) of more than 20.82 dB. It is understandable from the result analysis that the performance of the proposed approach is excellent.

**Keywords:** VANETs, video streaming, QoS, multi-path routing, ACO, fuzzy logic

**Received:** 20 December 2020

**Revised:** 31 December 2020

**Accepted:** 13 January 2021

**Corresponding Author:** Dr. Ahmad Khademzadeh

**Citation:** M. Vafaei, A. Khademzadeh, M. A. Pourmina, "A new QoS-based routing protocol for video streaming in VANETs using ACO algorithm and fuzzy logic", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 12, no. 46, pp. 49-68, September 2021 (in Persian).

# یک پروتکل مسیریابی جدید مبتنی بر کیفیت سرویس برای جریان‌سازی ویدیو در شبکه‌های موردی بین خودرویی با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان و منطق فازی

محمد وفائی<sup>۱</sup>، دانشجوی دکتری، احمد خادم‌زاده<sup>۲</sup>، استاد، محمدعلی پورمینا<sup>۱</sup>، دانشیار

۱- دانشکده مهندسی مکانیک، برق و کامپیوتر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران  
mohamad.vafaei@srbiau.ac.ir, pourmina@srbiau.ac.ir

۲- مرکز تحقیقات مخابرات، تهران، ایران  
ahmad\_khademzadeh@yahoo.com, zadeh@itrc.ac.ir

**چکیده:** انتقال چند مسیره یک روش انتقال مناسب برای بسته‌هایی با سرعت داده بالا مانند جریان‌سازی ویدیو است. به‌منظور جریان‌سازی ویدیو با کیفیت بالا، بسته‌های ویدیویی برای انتقال از مسیرهای متفاوت به فریم‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. با این حال، بسیاری از ویژگی‌های ذاتی شبکه‌های موردی بین خودرویی، طراحی یک پروتکل مسیریابی کارآمد و پایدار را برای کاربردهای مختلف در این شبکه‌ها دشوار می‌کند. به‌طور خاص، ماهیت پویای توپولوژی و قطعی‌های ارتباط برقراری کیفیت سرویس را بسیار دشوار می‌کند. برای تامین کیفیت سرویس در کاربردهای سرگرمی و موارد ایمنی در شبکه‌های موردی بین خودرویی، ما یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر تقاطع با توجه به کیفیت سرویس از نظر تاخیر، نرخ تحویل بسته و احتمال اتصال پیشنهاد نمودیم. به‌منظور ایجاد مسیرهایی با بهترین کیفیت سرویس، مسئله مسیریابی مربوطه را به‌عنوان مسئله بهینه‌سازی در نظر گرفتیم و یک الگوریتم مبتنی بر کلونی مورچگان برای حل آن پیشنهاد نمودیم. علاوه بر این، یک الگوریتم مبتنی بر منطق فازی برای انتخاب بهترین وسیله نقلیه گام بعدی با در نظر گرفتن موقعیت خودرو، کیفیت لینک و مدل تحرک وسیله نقلیه پیشنهاد شده است. با توجه به نتایج شبیه‌سازی، الگوریتم پیشنهادی نرخ تحویل بسته بیشتر از ۸۴/۲ درصد، تاخیر انتها به انتها کمتر از ۳/۵۸ ثانیه، سربار کمتر از ۱۵/۶۵ درصد و نرخ بیشینه سیگنال به نویز بیشتر از ۲۰/۸۲ دسی‌بل را ارائه می‌دهد. تجزیه و تحلیل نتایج نشان می‌دهد که عملکرد روش پیشنهادی بسیار خوب است.

**کلمات کلیدی:** شبکه‌های موردی بین خودرویی، جریان‌سازی ویدیو، کیفیت سرویس، مسیریابی چند مسیره، الگوریتم کلونی مورچگان، منطق فازی

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۹/۳۰

تاریخ بازنگری مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۲۴

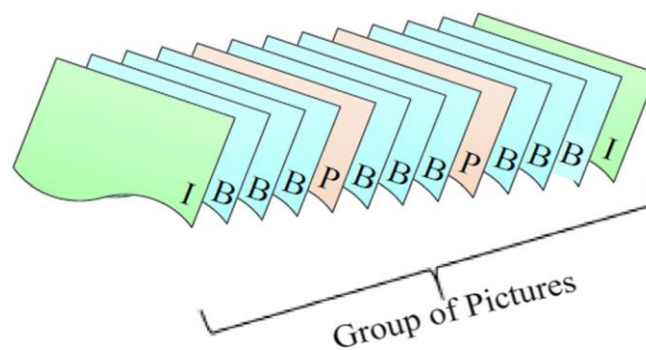
نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر احمد خادم‌زاده

نشانی نویسنده‌ی مسئول: تهران- انتهای خیابان کارگر شمالی- مرکز تحقیقات مخابرات ایران

## ۱- مقدمه

با توجه به این که امروزه افراد بخشی از زمان خود را در خودروها برای نقل و انتقال سپری می کنند، فن آوری شبکه های موردی بین خودرویی<sup>۱</sup> می تواند نقش به سزایی در بهبود کیفیت زندگی و سیستم حمل و نقل ایفا کند. با توجه به اهمیت این نوع شبکه و برای پشتیبانی از توسعه ی سریع و نیازمندی های آن، در سال ۱۹۹۹ کمیسیون فدرال ایالات متحده<sup>۲</sup> با تصویب استانداردها و پهنای باند لازم برای ارتباط خودروها با تجهیزات ثابت کنار جاده<sup>۳</sup>، عملاً مرحله ی جدیدی از شبکه های بین خودرویی را آغاز کرد که این حرکت با تصویب استاندارد ارتباطات با ناحیه ی ارتباطی کوتاه برد اختصاصی<sup>۴</sup> تکمیل شد. هسته مرکزی پروتکل DSRC، استاندارد IEEE 802.11p است، که تمرکز آن بر روی لایه کنترل دسترسی رسانه<sup>۵</sup> و لایه فیزیکی است. پروتکل DSRC/WAVE از محیط هایی که در آن خودروها با سرعتی تا ۲۰۰ کیلومتر در ساعت حرکت می کنند پشتیبانی می کند و امکان پوشش طیف ارتباطی ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ متر را با نرخ داده ای بین ۳ تا ۲۷ مگابیت در ثانیه فراهم می کند. شبکه های موردی بین خودرویی با استفاده از امواج رادیویی، انواع ارتباط های خودرو با خودرو<sup>۶</sup> و خودرو با تجهیزات ثابت کنار جاده<sup>۷</sup> را ایجاد می نمایند [۱-۳].

برقراری جریان سازی ویدیو<sup>۸</sup> [۴-۸] بر روی شبکه های موردی بین خودرویی می تواند فواید زیادی در زمینه کاربردهای مختلف این نوع شبکه داشته باشد. در موارد ایمنی جاده ها ویدیو می تواند در موارد اضطراری و نظارتی کمک کند. به عنوان مثال، در هنگام بروز سوانح رانندگی ویدیوی محل حادثه می تواند توسط خودروهای حاضر در صحنه تهیه شده و برای خودروهای مورد نظر مانند خودروهای امداد رسانی در اسرع وقت فرستاده شود. در کنترل ترافیک ویدیو اطلاعات مفیدتری را در اختیار رانندگان قرار می دهد، یک ویدیو از خیابان مورد نظر بهتر و سریع تر اطلاعات لازم را برای راننده فراهم می کند تا یک بیان متنی، چون ویژگی ویدیو این است که اطلاعات بیشتری را در زمان کمتر نسبت به پیام متنی انتقال می دهد. در آخر، ویدیو نقش بزرگی در کاربردهای سرگرمی دارد، و کاربران زیادی خواستار تماشای ویدیو هستند. در یک جریان ویدیویی هر گروه از تصاویر<sup>۹</sup>، همان طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، شامل چندین نوع از فریم است. این فریم ها شامل فریم I، P و B هستند.



شکل (۱): ساختار یک گروه از تصاویر در استاندارد MPEG [۷]

Figure (1): A GOP structure in the MPEG standard

با توجه به ویژگی های خاص شبکه های موردی بین خودرویی هم چون تحرک بالا و قطعی های مکرر ارتباط، جریان سازی ویدیو در این شبکه ها با چالش های فراوانی همراه است. دو مورد مهم از چالش های جریان سازی ویدیو در شبکه های موردی بین خودرویی، افزایش کیفیت انتقال ویدیو و کاهش زمان جریان سازی ویدیو است. با توجه به نرخ بالای ارسال ویدیو، در نظر گرفتن یک مسیر برای ارسال آن سبب ایجاد تراکم و در نتیجه کاهش احتمال ارسال موفق می شود. علاوه بر این، به علت تغییرات زیاد همبندی امکان از بین رفتن مسیر وجود دارد. با تقسیم جریان به مسیرهای متمایز، امکان دستیابی به توازن بار در انتقال داده ها به ویژه در جریان سازی ویدیو فراهم می شود. به این صورت که در یک سناریو مشخص، ویدیو مورد نظر از طریق مسیرهای متمایز انتخاب شده از یک خودرو مشخص به خودرو دیگری در شبکه، به صورت جریانی با کمک سایر خودروهای موجود در شبکه فرستاده شود، تا با کیفیت مطلوب به گیرنده برسد.

انتشار اطلاعات در محیط شبکه‌ی موردی بین خودرویی، بسیار مهم است و مسیریابی نقشی حیاتی در انتشار اطلاعات دارد. به علت طبیعت پویای گره‌های سیار در شبکه‌های موردی بین خودرویی، یافتن و نگهداری مسیرها در این شبکه‌ها بسیار چالش برانگیز است. اکثر پروتکل‌های مسیریابی، دنبال یافتن کوتاه‌ترین مسیر هستند. اما تحقیقات نشان داده است که کوتاه‌ترین مسیر در این نوع از شبکه‌ها می‌تواند مسیر بسیار ناپایداری بوده و با یک حرکت کوچک خودرو به آسانی شکسته شود. با شکست مسیر، میانگین تأخیر و اختلاف تأخیر رسیدن بسته‌ها افزایش یافته و نرخ تحویل داده کاهش می‌یابد. از طرفی افزایش سربار حاصل از ترمیم و یا یافتن مسیر جدید کارآیی کلی شبکه را کاهش می‌دهد. لذا پویایی ذاتی شبکه‌های موردی بین خودرویی، این دامنه را محیط مناسبی برای بکارگیری روش‌های هوش گروهی می‌نماید [۹،۱۰]. بنابراین اخیراً روش‌های هوش مصنوعی بسیاری از جمله تبرید شبیه‌سازی شده<sup>۱۰</sup> [۱۱]، الگوریتم ژنتیک<sup>۱۱</sup> [۱۲]، جستجوی ممنوع<sup>۱۲</sup> [۱۳] و بهینه‌سازی کلونی مورچگان<sup>۱۳</sup> [۵]، [۱۴-۱۶] در این گونه از شبکه‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در میان این روش‌ها الگوریتم کلونی مورچگان یک راه حل بهینه‌سازی کارآمد در شبکه‌های موردی بین خودرویی است. مکانیزم بهینه‌سازی کلونی مورچگان زیر مجموعه‌ای از الگوریتم‌های هوش گروهی است. در هوش گروهی، رفتار گروهی جان‌دارانی مانند مورچه‌ها، مگس‌ها، زنبورها، ماهی‌ها، مورانه‌ها، و پرندگان مورد بررسی قرار می‌گیرد. تمام این جان‌داران به تنهایی دارای توانایی محدود هستند ولی وقتی با هم در کلون‌هایی همکاری می‌کنند، رفتارهای پیچیده‌ای را با استفاده از تعاملات خود انجام می‌دهند که می‌تواند برای ما الگو باشد. تعاملات اجتماعی بین تک تک اعضا، برای رسیدن به هدف اصلی مهم و تأثیر گذار است. به‌وسیله این تعاملات است که دانش این موجودات از محیط پیرامونشان افزایش یافته و رفتار آن‌ها به سمت بهینه سوق می‌یابد.

بسیاری از پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر موقعیت [۵،۱۲] بسته‌ها را بین دو تقاطع توسط الگوریتم حمل و ارسال حریصانه پخش می‌کند، که در آن هر خودرو با استفاده از جدول مسیریابی خود و اطلاعات جغرافیایی همسایگان، خودرو بعدی را انتخاب می‌کند. همسایه نزدیک به تقاطع بعدی به عنوان گام بعدی انتخاب می‌شود و این روند تا رسیدن بسته‌ها به مقصد مورد نظر ادامه می‌یابد. بنابراین، برای انتخاب موفقیت آمیز گام‌های بعدی، نگه‌داشتن لیست دقیق همسایگان برای هر گره بسیار مهم است. اگر لیست‌ها دقیق نباشند، انتخاب بهترین گام بعدی ممکن است اشتباه باشد یا حتی بدتر ممکن است گره‌ای که در خارج از محدوده ارتباطات باشد، به‌عنوان گام بعدی انتخاب شود. در این تحقیق، به‌منظور انتخاب موفقیت آمیز وسیله نقلیه گام بعدی، وسیله نقلیه فعلی موقعیت، سرعت و اطلاعات مربوط به کیفیت لینک را از طریق پیام‌های سلام به وسایل نقلیه همسایه خود پخش می‌کند. از آنجا که ارزیابی شامل چندین فاکتور است، استفاده از یک رویکرد ساده ریاضی برای انجام یک محاسبه منصفانه دشوار است. بنابراین، از یک رویکرد مبتنی بر منطق فازی در ارزیابی استفاده می‌کنیم تا این سه عامل را به‌طور مشترک در نظر بگیریم.

در این مقاله یک مدل جریان‌سازی ویدیویی دو مسیره پیشنهاد شده است. به‌منظور افزایش پایداری و کاهش اکتشاف مسیرهای اضافی، مسیریابی بین دو تقاطع مرتبط با خودرو مبدأ و مقصد انجام می‌گیرد. برای ایجاد مسیرهای اولیه و ثانویه با بهترین کیفیت سرویس از نظر تأخیر، نرخ تحویل بسته و احتمال اتصال یک مدل ریاضی ارائه شده تا با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان مسیریابی با بهترین کیفیت سرویس<sup>۱۴</sup> انتخاب شوند. علاوه بر این، یک الگوریتم مبتنی بر منطق فازی برای انتخاب بهترین وسیله نقلیه گام بعدی پیشنهاد شده است. برای این منظور، پارامترهایی چون فاکتور فاصله، تحرک و کیفیت لینک، به‌عنوان ورودی‌های سیستم فازی در نظر گرفته شده است. خروجی به‌دست آمده از سیستم فازی، احتمال انتخاب خودرو گام بعدی است. سایر بخش‌های این مقاله به این صورت ارائه می‌گردد: در بخش دوم پیشینه تحقیق بیان شده است. در بخش سوم مدل پیشنهادی به همراه بلوک دیاگرام آن به‌صورت کامل تشریح شده است. در بخش چهارم به نتایج شبیه‌سازی و تحلیل مدل پیشنهادی پرداخته خواهد شد و در پایان، نتیجه‌گیری این پژوهش در بخش پنجم بررسی خواهد شد.

## ۲- پیشینه تحقیق

جریان‌سازی ویدیو یک موضوع شناخته شده در شبکه‌های بی‌سیم است. تکنیک‌های جریان‌سازی ویدیو در شبکه‌های موردی بین خودرویی به‌طور قابل توجهی می‌توانند به بهبود رانندگی کمک کنند. برای بهبود جریان‌سازی ویدیو در شبکه‌های بی‌سیم، تحقیقات زیادی انجام شده است. در مرجع [۱۷]، آصفی و همکاران یک روش وقفی ارسال مجدد MAC برای جریان‌سازی ویدیو

در شبکه‌های موردی بین خودرویی پیشنهاد نموده‌اند. در این روش بین افزایش میزان تلاش مجدد برای اطمینان از انتقال یک بسته و یا کاهش میزان تلاش مجدد برای جلوگیری از سرریز بافر یک مصالحه انجام می‌گیرد. در مرجع [۱۸]، زینگ و کای یک روش وقتی برای افزایش کیفیت ویدیو در شبکه‌های موردی بین خودرویی پیشنهاد نموده‌اند. آن‌ها دو آستانه‌ی افزایشی و کاهش‌ی را برای بافر گیرنده تعریف می‌کنند. مقادیر دو آستانه با توجه به چگالی خودوها، سرعت فعلی خودرو و فاصله‌ی دو واحد جانبی جاده مجاور تعیین می‌گردد.

در شبکه‌های موردی بین خودرویی می‌توان پروتکل‌های مسیریابی را به دو گروه مبتنی بر توپولوژی<sup>۱۵</sup> و مبتنی بر موقعیت<sup>۱۶</sup> دسته‌بندی کرد [۱۲]. در دسته اول، دو نوع مسیریابی وجود دارد که نوع اول مرحله کشف مسیر دارد که سربار ناشی از نگهداری این مسیرها با بزرگ شدن شبکه بسیار بالا می‌رود و نوع دوم هنگام ارسال داده، اقدام به ایجاد مسیر می‌کند که تأخیر را بالا می‌برد. اما دسته پروتکل‌های مبتنی بر موقعیت مناسب‌ترین و کاراترین پروتکل‌های مسیریابی برای شبکه‌های موردی بین خودرویی هستند. این دسته از پروتکل‌ها بر اساس دو فرض بنیادی طراحی شده‌اند: اولی این‌که، هر گره از موقعیت جغرافیایی خود آگاه است و دومی این‌که هر گره قادر است از موقعیت جغرافیایی گره‌ی مقصد با خبر شود. علت این‌که پروتکل‌های مبتنی بر موقعیت برای شبکه‌های موردی بین خودرویی مناسب هستند این است که این پروتکل‌ها در شبکه‌های بزرگ، مقیاس‌پذیرتر هستند چون که از اطلاعات محلی (فقط اطلاعات همسایه) برای انتخاب گره بعدی استفاده می‌کنند و نیازی به دانستن هم‌بندی کل شبکه ندارند [۱۹].

در مرجع [۱۶]، یک الگوریتم مسیریابی مبتنی بر موقعیت جغرافیایی برای شبکه‌های موردی بین خودرویی با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان به نام EGSR<sup>۱۷</sup> پیشنهاد شده است. در الگوریتم EGSR فرض شده که هر خودرو با سیستم موقعیت‌یاب جهانی، نقشه دیجیتال و سیستم ناوبری تجهیز شده است، که شامل اطلاعات مربوط به خودرو (سرعت خودرو، جهت خودرو و موقعیت جغرافیایی)، موقعیت تقاطع‌ها و طول بخش‌های جاده است. علاوه بر این فرض کردیم که خودرو می‌تواند با استفاده از موقعیت‌یابی، موقعیت خودرو مقصد خود را به‌دست آورد. هدف از فرآیند کشف مسیر در الگوریتم EGSR، انتخاب مسیر بهینه بین خودرو مقصد و مقصد بر اساس احتمال اتصال است. در مرجع [۵]، یک الگوریتم مسیریابی مبتنی بر کیفیت سرویس برای شبکه‌های موردی بین خودرویی با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان پیشنهاد شده است. هدف الگوریتم پیشنهادی، یافتن بهترین مسیر در سناریوهای شهری با بهترین کیفیت سرویس از نظر احتمال اتصال، نرخ تحویل بسته و تأخیر است. در الگوریتم پیشنهاد شده در مرجع [۵] دو نوع بسته‌ی داده وجود دارد: بسته‌های داده‌ی پروتکل کنترل انتقال<sup>۱۸</sup> و بسته‌های داده‌ی پروتکل بسته‌ی داده‌ی کاربر<sup>۱۹</sup>. بسته‌های داده‌ی پروتکل کنترل انتقال فقط از طریق مسیر اصلی انتقال می‌یابند و بسته‌های داده‌ی پروتکل بسته‌ی داده‌ی کاربر عمدتاً از طریق مسیر ثانویه منتقل می‌شوند.

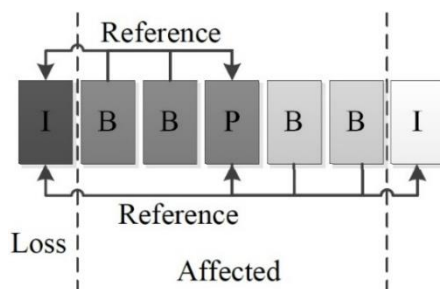
تاکنون منطق فازی از سوی پژوهشگران و محققان به‌طور گسترده برای شبکه‌های موردی بین خودرویی مورد استفاده قرار گرفته است [۲۰، ۲۱]. در مرجع [۲۰]، یک الگوریتم مسیریابی تحت عنوان PFQ-AODV<sup>۲۰</sup> برای شبکه‌های موردی بین خودرویی پیشنهاد شده است. در این الگوریتم از منطق فازی، برای بدست آوردن وضعیت پیوند هر کدام از مسیرها استفاده شده است و با به‌کارگیری الگوریتم یادگیری تقویتی<sup>۲۱</sup>، بهترین مسیر برای انتقال داده آموزش می‌بیند. این پروتکل با دریافت پیام سلام از هر گره، وضعیت پیوند فرستنده پیام را محاسبه می‌کند. پیام سلام، شامل پهنای باند در دسترس خودرو فرستنده و آدرس تمام همسایه‌ها است. وضعیت هر پیوند بر اساس معیارهای پهنای باند، سرعت نسبی خودروها و کیفیت پیوند محاسبه می‌شود که این معیارها ورودی‌های سیستم فازی را تشکیل می‌دهند و خروجی حاصل از این سیستم فازی وضعیت پیوند را نشان می‌دهد. در مرجع [۲۱]، یک الگوریتم مسیریابی مبتنی بر موقعیت جغرافیایی برای شبکه‌های موردی بین خودرویی با استفاده از منطق فازی به نام FL-DGR<sup>۲۲</sup> پیشنهاد شده است. این پروتکل با دریافت پیام سلام از هر گره، وضعیت پیوند فرستنده پیام را محاسبه می‌کند. وضعیت هر پیوند بر اساس معیارهای پهنای باند، فاصله خودروها تا خودرو مقصد، سرعت نسبی خودروها و کیفیت پیوند محاسبه می‌شود که این معیارها ورودی‌های سیستم فازی را تشکیل می‌دهند و بر اساس خروجی حاصل از این سیستم فازی، FL-DGR بهترین خودرو موجود را به‌عنوان خودرو گام بعدی انتخاب می‌کند.

### ۳- روش پیشنهادی

در این بخش، روش پیشنهادی به تفصیل توضیح داده شده است. در ابتدا یک مدل جریان‌سازی ویدیویی دو مسیره را ارائه می‌دهیم و سپس سیستم مورد استفاده برای شبکه‌های موردی بین خودرویی در مناطق شهری را معرفی می‌کنیم. ما هم‌چنین یک مسیریابی تطبیقی مبتنی بر تقاطع را با استفاده از یک الگوریتم کلونی مورچگان پیشنهاد می‌کنیم، که برای جستجوی مسیرهای بهینه از نظر کیفیت سرویس مناسب است. برای انتخاب بهترین گام بعدی، پروتکل از منطق فازی برای انتخاب وسایل نقلیه مناسب با در نظر گرفتن معیارهای متعدد استفاده می‌کند.

#### ۳-۱- مدل جریان‌سازی ویدیویی دو مسیره

در این بخش الگوریتم جریان‌سازی ویدیو دو مسیره را ارائه می‌دهیم. مسئله مهم تحقیق ما پیشنهاد یک طرح برای جریان‌سازی ویدیو با کیفیت بالا در شبکه‌های موردی بین خودرویی است. برای دستیابی به تعادل بار در طول جریان‌سازی ویدیو، داده‌های ویدیویی به مسیرهای مختلفی تقسیم می‌شوند. در بیشتر مطالعات موجود، جریان‌سازی ویدیو با استفاده از چند مسیر به‌طور عمده بر الگوریتم انتخاب مسیر تأکید دارند بدون اینکه ماهیت داده‌های ویدیویی منتقل شده را در نظر بگیرند. برای انتقال داده‌های ویدیویی مجزا، باید ماهیت داده‌های ویدیویی منتقل شده در مسیرهای مختلف را در نظر گرفت. در این مقاله، ما با تقسیم جریان ویدیو به دو جریان مجزا یعنی فریم‌های میانی<sup>۲۳</sup>، که نمایانگر فریم‌های I و فریم‌های داخلی<sup>۲۴</sup>، که نمایانگر فریم‌های B و P هستند، یک طرح جریان‌سازی با دو مسیر را طراحی کرده‌ایم. در استاندارد H.264 / AVC، فریم‌های P و فریم‌های B باید توسط فریم‌های مرجع رمزگشایی شوند، در حالی که می‌توان فریم I را به‌طور مستقل رمزگشایی کرد. بنابراین، بیشتر اطلاعات ویدیویی در مقایسه با فریم‌های داخلی در فریم I ذخیره می‌شود. همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است، از بین رفتن یک فریم I باعث ایجاد اثر زنجیره‌ای در از بین رفتن اطلاعات در فریم‌های P و فریم‌های B می‌شود. برای حفظ کیفیت ویدیو در دوره انتقال، سطح اولویت با توجه به اهمیت نوع داده‌های ویدیویی باید اختصاص یابد. به‌عنوان مثال، فریم I در پیش‌بینی هر دو فریم P و فریم‌های B ضروری است، بنابراین فریم‌های I در دسترسی و استفاده از منابع شبکه اولویت بیشتری دارند. در حالی که فریم‌های P و فریم‌های B در دسترسی و استفاده از همان منابع شبکه اولویت کمتری خواهند داشت. در طراحی ما، انتقال فریم‌های میانی و فریم‌های داخلی در دو مسیر مجزا صورت می‌گیرد. فریم‌های I در مسیر اولیه منتقل می‌شوند و فریم‌های P و B در مسیر ثانویه منتقل می‌شوند. مسیر اصلی برای انتخاب یک مسیر مناسب نسبت به مسیر ثانویه اولویت بالاتری دارد، زیرا فریم‌های I نسبت به فریم‌های P و فریم‌های B دارای اولویت بالاتری هستند. پروتکل مسیریابی در نظر گرفته شده یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر تقاطع است که از یک الگوریتم کلونی مورچگان برای جستجوی مسیر بهینه از نظر کیفیت سرویس استفاده می‌کند. علاوه بر این، به‌منظور کاهش تداخل و تصادم، دو مسیر نیز بر اساس استراتژی منفصل انتخاب می‌شوند. در این مقاله، ما از ترکیب پروتکل‌های کنترل انتقال و بسته‌ی داده‌ی کاربر برای دستیابی به کیفیت مطلوب ویدیوی مورد نظر استفاده می‌کنیم. در صورت تضمین انتقال فریم‌های I، کیفیت جریان ویدیو به شدت بهبود خواهد یافت. برای به حداقل رساندن اطلاعات مورد نیاز برای تضمین کیفیت، فقط فریم‌های I از طریق پروتکل کنترل انتقال منتقل می‌شوند در حالی که فریم‌های داخلی مانند فریم‌های P و فریم‌های B با استفاده از پروتکل بسته‌ی داده‌ی کاربر منتقل می‌شوند.

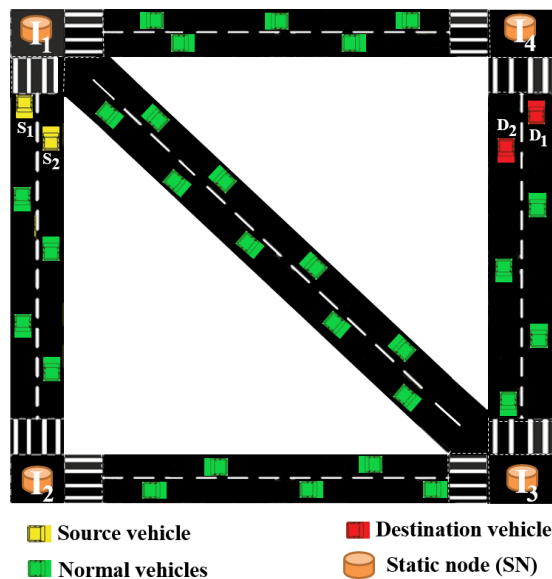


شکل (۲): تأثیر از بین رفتن فریم‌های I در جریان‌سازی ویدیو [۲۲]

Figure (2): The impact of the I-frames loss in video streaming

### ۳-۲- مدل سیستم

همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است، توپولوژی شبکه‌های موردی بین خودرویی به صورت یک گراف در نظر گرفته شده است. بنابراین، فرض کنید  $G(I, E)$  یک سناریو در مناطق شهری است که از جاده‌هایی با تقاطع‌ها و بخش‌ها تشکیل شده است. به‌طور کلی هر مسیر در یک گراف شامل مجموعه‌ای از تقاطع‌های  $\{I_1, I_2, \dots, I_n\}$  و دنباله‌ای از بخش‌های جاده  $\{e_1, e_2, \dots, e_{n-1}\}$ ، که لینک‌های اتصال در میان دو تقاطع، است. تقاطع متصل به وسیله نقلیه مبدا به‌عنوان تقاطع ترمینال وسیله نقلیه مبدا<sup>۲۵</sup> نام‌گذاری شده است و تقاطع ترمینال وسیله نقلیه مقصد<sup>۲۶</sup> تقاطعی است که به وسیله نقلیه مقصد وصل می‌گردد. فرض می‌کنیم وسایل نقلیه از طریق یک گیرنده سیستم موقعیت‌یابی جهانی<sup>۲۷</sup>، موقعیت جغرافیایی خود را به‌دست می‌آورند. وسایل نقلیه هم‌چنین برای تعیین موقعیت تقاطع‌های هم‌جوار خود، با استفاده از یک سیستم ناوبری<sup>۲۸</sup> به یک نقشه دیجیتالی منطقه دسترسی دارند. علاوه بر این، در هر تقاطع به‌منظور ارسال بسته و ذخیره کردن اطلاعات مسیریابی یک گره استاتیک  $(SN_i)$ ، نصب شده است.



شکل (۳): یک مثال از سناریو شهری  
Figure (3): Sample of an urban scenario

### ۳-۳- پروتکل مسیریابی دو مسیره مبتنی بر الگوریتم کلونی مورچگان

در این بخش، جزئیات الگوریتم مسیریابی پیشنهادی را ارائه می‌دهیم، که یک پروتکل مسیریابی تطبیقی مبتنی بر تقاطع است. هدف ما یافتن مسیرهای بهینه اولیه و ثانویه از TIS تا TID با بالاترین کیفیت سرویس است که با توجه به سه پارامتر مبتنی بر کیفیت سرویس شامل تأخیر در انتقال، نرخ تحویل بسته و احتمال اتصال ارزیابی می‌شود. پروتکل ارائه شده در مرجع [۵]، یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر کیفیت سرویس است که فقط محدودیت تأخیر را برآورده می‌کند. این ممکن است برای برنامه‌های مختلف با محدودیت‌های کیفیت سرویس متفاوت کافی نباشد. به این منظور در الگوریتم پیشنهادی علاوه بر محدودیت تأخیر محدودیت‌های احتمال اتصال و نرخ تحویل بسته نیز در نظر گرفته می‌شود. با توجه به ملاحظات فوق، مسئله موجود در الگوریتم مسیریابی پیشنهادی مبنی بر ایجاد بهترین مسیرهای اولیه و ثانویه و هم‌چنین رضایت از آستانه‌های کیفیت سرویس چندگانه، می‌تواند به صورت یک مسئله بهینه‌سازی مطرح شده و تابع هدف به صورت زیر بیان گردد:

$$F(r) = \gamma_1 \cdot C_D(r) \cdot \frac{D_{th}-D(r)}{D_{th}} \cdot \frac{1}{(1+D_v(r))} + \gamma_2 \cdot C_{PDR}(r) \cdot PDR(r) + \gamma_3 \cdot C_{PC}(r) \cdot PC(r) \quad (1)$$

که در آن:

$$\begin{cases} D(r) = \sum_{i=1}^{n-1} D(e_i) \\ D_v(r) = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} D_v(e_i)}{n-1} \\ PDR(r) = \prod_{i=1}^{n-1} PDR(e_i) \\ PC(r) = \prod_{i=1}^{n-1} PC(e_i) \end{cases} \quad (2)$$

9

$$\begin{cases} C_D(r) = \begin{cases} 1 & \text{if } D(r) \leq D_{th} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\ C_{PDR}(r) = \begin{cases} 1 & \text{if } PDR(r) \geq PDR_{th} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\ C_{PC}(r) = \begin{cases} 1 & \text{if } PC(r) \geq PC_{th} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

که در این روابط  $D(r)$ ,  $D_v(r)$ ,  $PDR(r)$  و  $PC(r)$  به ترتیب نشان دهنده‌ی کیفیت سرویس کلی، تأخیر، وارینانس تأخیر، نرخ تحویل بسته و احتمال اتصال مسیر  $r$  از TIS به TID هستند.  $D(e_i)$ ,  $D_v(e_i)$ ,  $PDR(e_i)$  و  $PC(e_i)$  به ترتیب معیارهای کیفیت سرویس یک بخش از جاده<sup>۲۹</sup> را نشان می‌دهند. به منظور نرمالیزه کردن معیارهای کیفیت سرویس، تأخیر و وارینانس تأخیر را به صورت  $\frac{D_{th}-D(r)}{D_{th}} \cdot \frac{1}{(1+D_v(r))}$  در نظر می‌گیریم تا مقدار آن کم‌تر از یک باشد.  $D_{th}$ ,  $PDR_{th}$  و  $PC_{th}$  به ترتیب مقادیر آستانه را برای تأخیر، نرخ تحویل بسته و احتمال اتصال نشان می‌دهند.  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  و  $\gamma_3$  مقادیر وزن هستند و  $\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 = 1$ .  $C_{PDR}(r)$ ,  $C_D(r)$  و  $C_{PC}(r)$  پارامترهای اندازه‌گیری هستند که برای تشخیص این‌که آیا معیارهای کیفیت سرویس مسیر  $r$  آستانه‌های کیفیت سرویس مربوطه را تحقق می‌بخشند یا خیر، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### ۳-۳-۱- فرآیند انتخاب تقاطع ترمینال

در این بخش، فرآیند انتخاب تقاطع ترمینال برای خودروهای مبدا و مقصد مربوطه را ارائه می‌دهیم. مسیرهای موجود برای خودروهای مختلفی که در بخش‌های جاده‌ای یکسان حرکت می‌کنند، مشابه است. بنابراین، برای کاهش اکتشاف مسیریابی اضافی، ما صرفاً تقاطع ترمینال را برای خودروهای مبدا و مقصد استخراج می‌کنیم و سپس به‌جای مسیریابی بین خودروهای مبدا و مقصد، فقط مسیرهای بین این دو ترمینال را کشف می‌کنیم. به‌عنوان مثال در شکل (۳)، دو جفت خودرو مبدا و مقصد ( $S_1$ ,  $D_1$  و  $S_2$ ,  $D_2$ ) در یک بخش از جاده در حال حرکت هستند و مسیرهای موجود برای این دو جفت خودروها مشابه هستند، بنابراین ما فقط باید مسیرهای بهینه موجود بین TIS و TID را جستجو کنیم (در اینجا  $TIS = I_1$  و  $TID = I_4$ ). براساس اطلاعات دریافتی از سیستم موقعیت‌یابی جهانی، وسیله نقلیه مبدا با توجه به جهت حرکت و فاصله آن از تقاطع‌های مجاور، تقاطع ترمینال‌ها را برای خود و وسیله نقلیه مقصد انتخاب می‌کند. به هر یک از تقاطع‌های نامزد شده، امتیاز اختصاص داده می‌شود، و سپس یکی از تقاطع‌ها که دارای بالاترین امتیاز بوده به‌عنوان تقاطع ترمینال انتخاب می‌شود. نحوه‌ی امتیازدهی به‌صورت زیر بیان می‌گردد [۵]:

$$S(I_i) = \alpha \cdot \left(1 - \frac{d(I_i)}{X_L}\right) + (1 - \alpha) \cdot Md(I_i) \quad (4)$$

در این رابطه  $X_L$  طول هر بخش از جاده است،  $d(I_i)$  نشان‌دهنده‌ی فاصله بین ترمینال ارتباطی و تقاطع همسایه  $I_i$  است.  $\alpha$  نشان‌دهنده‌ی پارامتر وزن و  $Md(I_i)$  ارزش جهت حرکت ترمینال ارتباطی را نشان می‌دهد که به شرح زیر به‌دست می‌آید [۵]:

$$Md(I_i) = \begin{cases} 1 & \text{the communication terminal moves to } I_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

### ۳-۳-۲- فرآیند اکتشاف مسیرهای نامزد شده

هنگام شروع یک ارتباط بین خودرویی به‌سمت وسیله نقلیه مقصد، وسیله نقلیه مبدا ابتدا درخواست مسیریابی را به TIS ارسال می‌کند تا بررسی کند که آیا اطلاعات مسیریابی موجود به‌سمت TID وجود دارد یا خیر. اگر اطلاعات مسیریابی در TIS وجود داشته باشد، TIS پاسخ مثبت به‌سمت خودرو مبدا ارسال می‌کند، و سپس خودرو مبدا مستقیماً ارسال بسته‌های ویدیویی را به TIS آغاز می‌کند. در غیر این صورت، خودرو مبدا با ارسال مورچه‌های پیش‌رو<sup>۳۰</sup>، جستجوی مسیر بهینه از TIS به TID را آغاز می‌کند.



مورچه‌های پیش‌رو با گذر از تقاطع‌ها، توپولوژی مسیریابی را بررسی می‌کنند. هنگامی که یک مورچه پیش‌رو وارد تقاطع  $I_i$  می‌شود، ابتدا شناسه  $I_i$  را ذخیره کرده و سپس با استفاده از احتمال  $p_{ij}$  بر اساس هر دو فرمون  $\tau_1$  محلی و کلی که در  $I_i$  ذخیره شده است، برای انتخاب تقاطع بعدی ( $I_j$ ) تصمیم‌گیری می‌کند. این احتمال به حفظ تعادل بین اکتشاف مسیره‌های جدید و بهره‌برداری از مسیر قبلی کمک می‌کند.  $p_{ij}$  به شرح زیر محاسبه می‌شود [۱۴]:

$$p_{ij} = \frac{\tau_{ij}^{\sigma_1} \cdot \eta_{ij}^{\sigma_2}}{\sum_{k=1}^M \tau_{ik}^{\sigma_1} \cdot \eta_{ik}^{\sigma_2}} \quad (۶)$$

در این رابطه  $p_{ij}$  احتمال این که مورچه پیش‌رو واقع در تقاطع  $I_i$  تقاطع  $I_j$  را به‌عنوان تقاطع بعدی انتخاب کند را نشان می‌دهد.  $M$  مجموعه تقاطع‌های همسایه  $I_i$  را به تصویر می‌کشد.  $\sigma_1$  و  $\sigma_2$  پارامترهای وزن هستند، که به ترتیب تأثیر فرمون کلی و محلی در احتمال انتخاب تقاطع بعدی را نشان می‌دهند. به‌عنوان مثال، اگر چگالی شبکه زیاد باشد و توپولوژی شبکه پایدار باشد، بهتر است مقادیر بزرگ‌تری را برای پارامترهای وزن انتخاب کنیم زیرا پیوندهای ارتباطی بین وسایل نقلیه نسبتاً پایدار هستند. اما اگر عملکرد الگوریتم مسیریابی به دلیل تراکم پایین شبکه کاهش یافته باشد، بهتر است مقادیر کوچک‌تری را برای پارامترهای وزن انتخاب کنیم تا مورچه‌ها بتوانند مسیره‌های جدید را کشف کنند.  $\eta_{ij}$  فرمون محلی است که نشان دهنده کیفیت سرویس محلی یک بخش از جاده بین دو تقاطع  $I_i$  و  $I_j$  است.  $\tau_{ij}$  فرمون کلی را به تصویر می‌کشد، که کیفیت سرویس کلی مسیر از  $I_i$  تا TID را هنگام عبور از تقاطع  $I_j$  مشخص می‌کند.  $\tau_{ij}$  و  $\eta_{ij}$  به شرح زیر محاسبه می‌گردند:

$$\eta_{ij} = F(e_{ij}) = \gamma_1 \cdot C_D(e_{ij}) \cdot \frac{D_{th} - D(e_{ij})}{D_{th}} \cdot \frac{1}{(1 + D_V(e_{ij}))} + \gamma_2 \cdot C_{PDR}(e_{ij}) \cdot PDR(e_{ij}) + \gamma_3 \cdot C_{PC}(e_{ij}) \cdot PC(e_{ij}) \quad (۷)$$

$$\tau_{ij} = F(r_{ij}) = \gamma_1 \cdot C_D(r_{ij}) \cdot \frac{D_{th} - D(r_{ij})}{D_{th}} \cdot \frac{1}{(1 + D_V(r_{ij}))} + \gamma_2 \cdot C_{PDR}(r_{ij}) \cdot PDR(r_{ij}) + \gamma_3 \cdot C_{PC}(r_{ij}) \cdot PC(r_{ij}) \quad (۸)$$

که در این روابط  $D_V(e_{ij})$ ،  $D(e_{ij})$ ،  $PDR(e_{ij})$  و  $PC(e_{ij})$  به ترتیب تأخیر، واریانس تأخیر، نرخ تحویل بسته و احتمال اتصال یک بخش از جاده بین دو تقاطع  $I_i$  و  $I_j$  را نشان می‌دهند. به‌طور مشابه  $D_V(r_{ij})$ ،  $D(r_{ij})$ ،  $PDR(r_{ij})$  و  $PC(r_{ij})$  همان معیارهای کیفیت سرویس مسیر  $r_{ij}$  را از  $I_i$  به TID هنگام عبور از  $I_j$  نشان می‌دهند.  $C_D(e_{ij})$ ،  $C_{PDR}(e_{ij})$  و  $C_{PC}(e_{ij})$  برای اندازه‌گیری این که آیا معیارهای کیفیت سرویس یک بخش از جاده آستانه‌های مربوط به کیفیت سرویس را برآورده می‌کنند، استفاده می‌شوند. به‌طور مشابه  $C_D(r_{ij})$ ،  $C_{PDR}(r_{ij})$  و  $C_{PC}(r_{ij})$  نیز برای اندازه‌گیری این که آیا معیارهای کیفیت سرویس مسیر  $r_{ij}$  از  $I_i$  تا TID هنگام عبور از  $I_j$  آستانه‌های مربوط به کیفیت سرویس را برآورده می‌کنند، استفاده می‌شوند.

### ۳-۳-۳- فرآیند انتخاب مسیره‌های اولیه و ثانویه بهینه

زمانی که یک مورچه پیش‌رو به TID می‌رسد، اگر تأخیر انتقال آن مسیر از مقدار آستانه تأخیر ( $D_{th}$ ) کوچک‌تر باشد و هم‌چنین مقادیر نرخ تحویل بسته و احتمال اتصال نیز از مقادیر آستانه نرخ تحویل بسته ( $PDR_{th}$ ) و احتمال اتصال ( $PC_{th}$ ) بزرگ‌تر باشد، این مورچه‌ی پیش‌رو به یک مورچه‌ی پس‌رو<sup>۳۲</sup> تبدیل می‌شود، و در غیر این صورت مسیر حذف می‌شود. این مورچه پس‌رو با استفاده از همان مسیر کشف شده توسط مورچه‌ی پیش‌رو ولی در جهت معکوس به TIS باز می‌گردد. هنگام ورود به تقاطع  $I_i$  (حرکت از  $I_j$ )، مورچه پس‌رو در ابتدا بر اساس معیارهای کیفیت سرویس آخرین مقدار فرمون کلی  $\Delta\tau_{ij}$  را با توجه به رابطه‌ی (۸) محاسبه کرده و سپس فرمون ذخیره شده در مسیر به شرح زیر به‌روزرسانی می‌گردد [۱۵]:

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \eta) \cdot \tau_{ij} + \eta \cdot \Delta\tau_{ij} \quad (۹)$$

در این رابطه  $\eta$  پارامتر وزن است ( $0 < \eta < 1$ ). بدیهی است، که فرآیند به‌روزرسانی فرمون می‌تواند از تصمیمات اشتباهی که ممکن است حین اکتشاف مسیر مناسب رخ دهد جلوگیری کند. این فرآیند تا هنگام رسیدن تمام مورچه‌ها به TIS ادامه می‌یابد. زمانی که همه‌ی مورچه‌های پس‌رو به TIS رسیدند، مقادیر مختلف تابع هدف همه‌ی مسیره‌های نامزد موجود را مقایسه می‌کنیم و دو مسیری را که دارای بالاترین مقادیر  $F(r)$  هستند به ترتیب به‌عنوان مسیره‌های اولیه و ثانویه انتخاب می‌شوند. سپس TIS یک پیام مثبت به وسیله نقلیه مبدا برای شروع ارسال بسته‌های پروتکل کنترل انتقال و پروتکل بسته‌ی داده‌ی کاربر ارسال می‌کند. با توجه به این که احتمال تصادم در مسیر گره-مجزا کم‌تر از مسیر لینک-مجزا است، الگوریتم کشف مسیر پیشنهادی در درجه اول مسیر گره-مجزا را به‌عنوان مسیر ثانویه انتخاب می‌کند. اگر مسیر گره-مجزا از TIS تا TID یافت نشد، مسیر لینک-مجزا

به‌جای مسیر گره-مجزا انتخاب می‌شود. در مرجع [۵] از یک الگوریتم غیر هم‌زمان برای انتخاب مسیرهای اولیه و ثانویه استفاده شده است که این الگوریتم می‌تواند باعث افزایش تاخیر و هم‌چنین افزایش زمان ایجاد مسیر گردد. به‌منظور کاهش تاخیر و زمان ایجاد مسیر در روش پیشنهادی از یک الگوریتم هم‌زمان برای انتخاب مسیرهای اولیه و ثانویه استفاده شده است. بنابراین برای انتخاب دو مسیر گره مجزا، با فرض این‌که طول مسیر اولی  $n$  و طول مسیر دومی  $m$  باشد، باید تمام گره‌ها در دو مسیر مقایسه شوند تا تصمیم بگیریم که آیا دو مسیر گره مجزا هستند یا خیر. پیچیدگی محاسباتی در این حالت برای تعیین این‌که آیا دو مسیر گره-مجزا هستند برابر با  $O(nm)$  است. پیچیدگی محاسباتی در حالت لینک مجزا با مقایسه‌ی تمام لینک‌ها برابر با  $O((n-1)(m-1))$  است. بهترین حالت سناریو زمانی است که تعداد گره‌ها در یک مسیر کم‌تر از مسیر دیگر باشد، در این حالت با مرتب‌سازی گره‌های موجود در شبکه‌های موردی بین خودرویی پیچیدگی محاسباتی می‌تواند بیشتر کاهش یابد. بنابراین پیچیدگی محاسباتی در این حالت با فرض  $m < n$  برابر با  $O(n \log n)$  است. بدترین حالت سناریو زمانی است که هر دو مسیر به‌طور کامل بررسی شده باشند، در این حالت پیچیدگی محاسباتی برابر با برابر با  $O(nm)$  است.

### ۳-۳-۴- فرآیند تبخیر فرمون

محاسبه‌ی فرآیند تبخیر فرمون برای جلوگیری از همگرایی سریع الگوریتم به‌سمت یک ناحیه‌ی غیر بهینه الزامی است. در هر بازه زمانی، سطح فرمون در هر لینک از بخش جاده به کمک یک مدل ریاضی که از مکانیزم تبخیر فرمون مورچه‌های واقعی نشأت گرفته کاهش می‌یابد. در الگوریتم مسیریابی پیشنهادی، مکانیزم تبخیر فرمون را به‌صورت زیر تعریف می‌کنیم [۵]:

$$\tau_{ij}(t + t^{ex}) = \begin{cases} \rho \cdot \tau_{ij} & \text{if } \tau_{ij}(t) > \tau_0 \\ \tau_0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

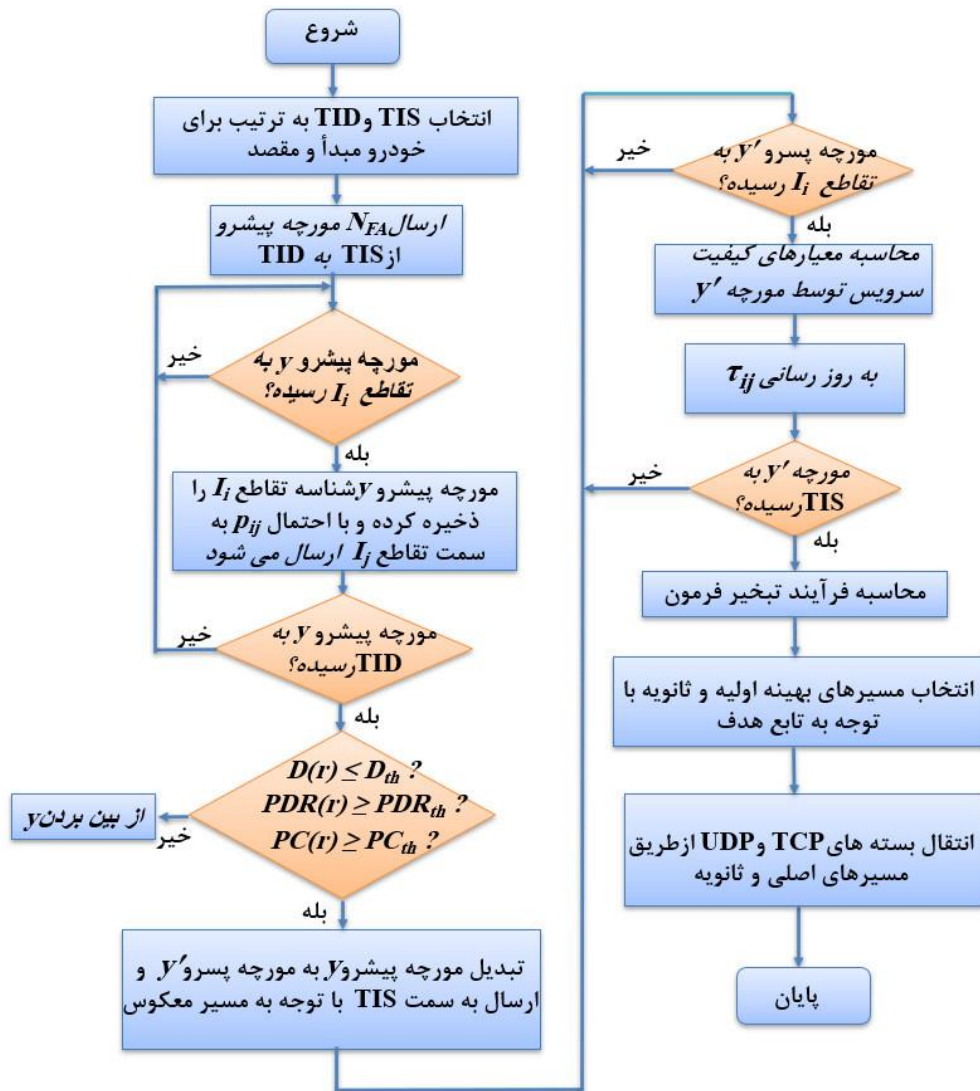
در این رابطه  $\rho$  نشان‌دهنده‌ی ضریب تبخیر فرمون و  $0 < \rho < 1$  است.  $t^{ex}$  فاصله زمانی تبخیر را نشان می‌دهد.  $\tau_{ij}(t + t^{ex})$  سطح فرمون به‌روز شده در زمان  $t + t^{ex}$  را نشان می‌دهد.  $\tau_0$  کم‌ترین مقدار فرمون را نشان داده که در واقع مقدار آن ثابت است. مراحل اصلی الگوریتم مسیریابی پیشنهادی در شکل (۴) نشان داده شده است.

### ۳-۴-۴- فرآیند انتخاب خودروی گام بعدی مبتنی بر سیستم تصمیم‌گیری منطق فازی

در الگوریتم پیشنهادی به‌منظور انتخاب موفقیت آمیز وسیله نقلیه گام بعدی، وسیله نقلیه فعلی موقعیت، سرعت و اطلاعات مربوط به کیفیت لینک را از طریق پیام‌های سلام<sup>۳۳</sup> به وسایل نقلیه همسایه خود پخش<sup>۳۴</sup> می‌کند. پیام‌های سلام به‌منظور جلوگیری از همگام سازی و برخورد احتمالی به‌طور دوره‌ای در فواصل از پیش تعریف شده تولید می‌شوند. این فاصله با توجه به نیاز سیستم تنظیم می‌شود. با این حال، یک بازه‌ی یک ثانیه‌ای در اکثر موارد کافی است زیرا مسافت حرکت احتمالی وسایل نقلیه در این دوره بسیار کم‌تر از محدوده انتقال است. در ارزیابی، سه عامل مختلف را در نظر می‌گیریم: (۱) فاصله بین هر وسیله نقلیه نامزد شده با خودرو مقصد (۲) سرعت حرکت وسایل نقلیه و (۳) کیفیت پیوند بین وسیله نقلیه فعلی و خودرو نامزد شده گام بعدی.

### ۳-۴-۱- محاسبه میزان اعتبار

محاسبه میزان اعتبار شامل سه مرحله است: (۱) تعریف فاکتورهای ورودی سیستم فازی، (۲) فازی‌سازی و قوانین فازی و (۳) دی‌فازی‌سازی. ابتدا فاکتورهای ورودی سیستم فازی برای هر وسیله‌ی نقلیه نامزد شده در محدوده مخابراتی  $R$  محاسبه می‌شود. یک مجموعه از وسایل نقلیه را که می‌توانند از وسیله نقلیه فعلی  $V_c$  پیام سلام را دریافت کنند به‌عنوان مجموعه منتخب وسیله نقلیه  $V_c$  تعریف می‌کنیم و با  $FV_c$  نشان می‌دهیم. هر وقت بسته‌ای از وسیله نقلیه  $V_c$  برای ارسال دریافت می‌شود، هر وسیله نقلیه موجود در  $FV_c$  خود را بر اساس فاصله‌اش تا مقصد، تحرک وسیله نقلیه و کیفیت لینک ارزیابی می‌کند. در مرحله بعد، از توابع عضویت برای تبدیل فاکتورها به مقادیر فازی استفاده می‌کنیم و برای محاسبه نهایی مقدار فازی برای هر وسیله نقلیه نامزد شده گام بعدی، از قواعد فازی استفاده می‌کنیم. درنهایت، مقدار فازی براساس تابع عضویت خروجی فازی به یک مقدار عددی (اعتبار) تبدیل می‌شود.



شکل (۴): نمودار الگوریتم مسیریابی پیشنهادی  
Figure (4): Flowchart of the proposed routing algorithm

**مرحله اول - تعریف فاکتورهای ورودی سیستم فازی:** در روش پیشنهادی ما، فاکتورهای ورودی سیستم فازی توسط سه معیار مشخصه، یعنی فاکتور فاصله، فاکتور تحرک و فاکتور تخمین کیفیت لینک، بر اساس اطلاعات موجود در پیام‌های سلام دریافت شده از وسایل نقلیه همسایه، تعریف می‌گردند.

**فاکتور فاصله<sup>۳۵</sup>:**

برای محاسبه فاصله بین هر وسیله نقلیه نامزد شده و مقصد از فاصله اقلیدسی استفاده می‌کنیم. فاصله یک خودرو تا مقصد با توجه به فاصله آن تا نزدیکترین تقاطع و سپس فاصله بین تقاطع‌های بعدی تا خودرو مقصد محاسبه می‌شود. فاصله بین دو وسیله نقلیه  $V_k(x_k, y_k)$  و  $V_d(x_d, y_d)$  را می‌توان به صورت مجموع طول مسافت‌های عمودی و افقی بین دو خودرو  $V_k$  و  $V_d$  تعریف کرد و به صورت زیر به دست می‌آید [۲۱]:

$$\text{Distance}(V_k, V_d) = |x_k - x_d| + |y_k - y_d| \quad (11)$$

پس از دریافت پیام سلام،  $DF(V_k, V_d)$  به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$DF(V_k, V_d) = \frac{\text{Distance}(V_k, V_d) - \text{Distance}_{\min}}{\text{Distance}_{\max} - \text{Distance}_{\min}} \quad (12)$$

در این رابطه  $\text{Distance}(V_k, V_d)$  مسافت وسیله نقلیه نامزد شده تا خودرو مقصد است و  $\text{Distance}_{\min}$  و  $\text{Distance}_{\max}$  به ترتیب نشان دهنده حداقل و حداکثر مقادیر مسافت اندازه‌گیری شده تا مقصد برای کلیه وسایل نقلیه موجود در  $FV_C$  هستند.

### فاکتور تحرک<sup>۳۶</sup>:

پس از دریافت پیام سلام از خودرو  $V_k$ ، خودرو  $V_c$  سرعت خودرو  $V_k$ ،  $v(k)$  را استخراج کرده و  $MF(V_c, V_k)$  به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$MF(V_c, V_k) = \frac{v(k) - v_{\min}}{v_{\max}} \quad (۱۳)$$

در این رابطه  $v_{\min}$  و  $v_{\max}$  به ترتیب حداقل و حداکثر سرعت وسایل نقلیه موجود در  $FV_c$  را نشان می‌دهند.

### فاکتور تخمین کیفیت لینک<sup>۳۷</sup>:

لینک‌های بی‌سیم تحت تأثیر عواملی هم‌چون تضعیف سیگنال و محو شدن قرار می‌گیرند. بنابراین، به منظور افزایش اطمینان و به حداقل رساندن تلفات بسته، باید کیفیت لینک بین وسیله نقلیه فعلی و خودرو نامزد بعدی را در نظر بگیریم.  $ETX$  یک معیار شناخته شده برای ارزیابی کیفیت لینک‌ها در شبکه‌های بی‌سیم است. معیار  $ETX$  میزان تلفات را در هر دو حالت داده و پیام تصدیق<sup>۳۸</sup> در نظر می‌گیرد. با فرض این که  $v_f$  نشان‌دهنده احتمال دریافت یک بسته با موفقیت باشد و  $v_r$  احتمال دریافت پیام تصدیق را نشان دهد، معیار  $ETX$  به شرح زیر تعریف می‌گردد [۲۱]:

$$ETX(V_c, V_k) = \frac{1}{v_f \times v_r} \quad (۱۴)$$

برای محاسبه کیفیت لینک بین وسیله نقلیه فعلی ( $V_c$ ) و خودرو نامزد گام بعدی ( $V_k$ )، خودرو  $V_k$  احتمال  $v_r$  را محاسبه کرده و برای خودرو  $V_c$  می‌فرستد، در حالی که  $V_c$  احتمال  $v_f$  را محاسبه می‌کند. وسایل نقلیه،  $v_f$  و  $v_r$  را با استفاده از نرخ‌های تحویل بسته سلام ( $PDR_{Hello}$ )، در یک دوره متوسط  $T$  (یک ثانیه در اجرای ما) تخمین می‌زنند. با شمارش تعداد بسته‌های سلام دریافتی از یک گره همسایه در یک پنجره  $w$  ثانیه (ده ثانیه در اجرای ما)، نرخ تحویل بسته‌های سلام در زمان  $t$ ،  $PDR_{Hello}(t)$  به شرح زیر محاسبه می‌شود [۲۱]:

$$PDR_{Hello}(t) = \frac{\text{count}(t-w, t)}{w/T} \quad (۱۵)$$

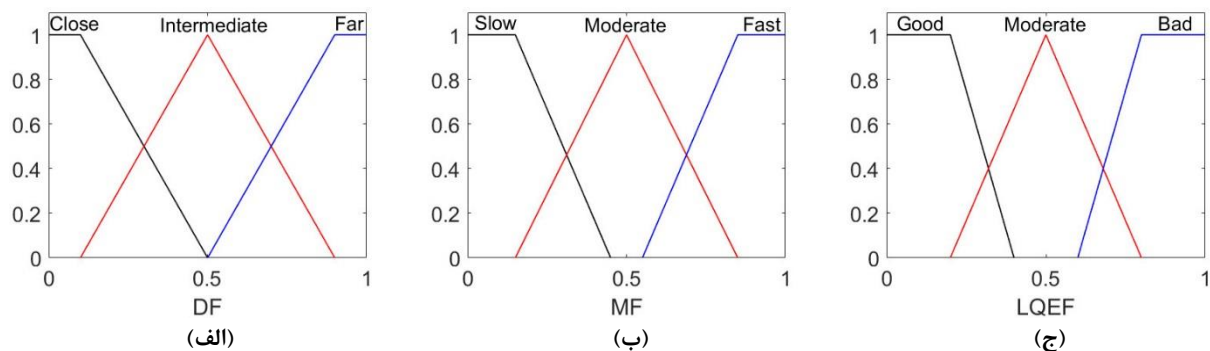
در این رابطه  $\text{count}(t-w, t)$  نشان‌دهنده تعداد بسته‌های سلام است که تاکنون (در زمان  $t$ ) در طول پنجره  $w$  دریافت شده‌اند و  $w/T$  تعداد بسته‌های سلام است که باید در آن زمان دریافت شده باشند.

**مرحله دوم - فازی‌سازی و قوانین فازی:** توابع عضویت فازی برای سه معیار مشخصه، یعنی فاکتور فاصله، فاکتور تحرک و فاکتور تخمین کیفیت لینک همان‌طور که در شکل (۵) نشان داده شده است تعریف می‌شوند. متغیرهای فازی فاکتور فاصله به صورت {نزدیک، متوسط، دور} تعریف شده‌اند. به‌طور مشابه، متغیرهای فازی برای فاکتور تحرک و فاکتور تخمین کیفیت لینک به ترتیب به صورت {آهسته، متوسط، سریع} و {خوب، متوسط، بد} تعریف شده‌اند. پس از محاسبه مقادیر فازی سه معیار فاکتور فاصله، فاکتور تحرک و فاکتور تخمین کیفیت لینک، خودرو فعلی از ترکیب قوانین فازی (مطابق جدول (۱)) برای محاسبه نهایی مقدار فازی برای هر وسیله نقلیه نامزد شده گام بعدی استفاده می‌کند.

**مرحله سوم - دی‌فازی‌سازی:** تابع عضویت خروجی همان‌طور که در شکل (۶) نشان داده شده است، تعریف می‌گردد. از روش مرکز ثقل<sup>۳۹</sup> برای جداسازی استفاده می‌شود. همان‌طور که در شکل (۶) نشان داده شده است، مقدار مختصات افقی متناظر با مقدار نهایی دی‌فازی‌سازی شده است که مقدار اعتبار خودرو نامزد شده گام بعدی را نشان می‌دهد.

### ۳-۵- تجزیه و تحلیل مدل‌های کیفیت سرویس برای بخش‌های یک جاده دو طرفه

در این بخش، مدل‌های کیفیت سرویس برای بخش‌های یک جاده دو طرفه پیشنهاد شده است و این مدل‌ها نقش مهمی را در انتخاب مسیریابی برای محیط‌های شهری ایفا می‌کنند. معیارهای احتمال اتصال، نرخ تحویل بسته، تأخیر به‌منظور ارزیابی کیفیت سرویس بخش‌های جاده انتخاب شده‌اند، زیرا این معیارها به‌طور دقیق به پارامترهای مخابراتی مانند اثرات محو شدن کانال بی‌سیم، محدوده‌های ارتباطی، طول بخش جاده، تراکم خودرو، توزیع و ... مرتبط است. در شکل (۷) یک بخش از جاده دو طرفه با طول  $X_L$  بین دو تقاطع  $I_1$  و  $I_2$  در یک سناریوی شهری نشان داده شده است.

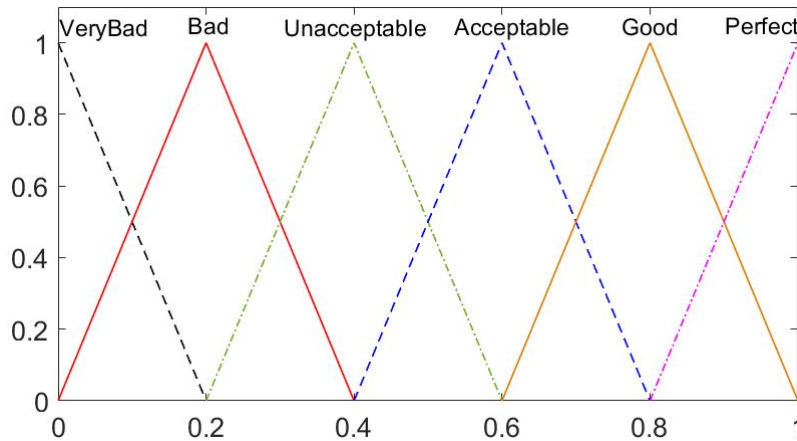


شکل (۵): توابع عضویت فازی برای متغیرهای ورودی (الف) فاکتور فاصله، (ب) فاکتور تحرک و (ج) فاکتور تخمین کیفیت لینک  
Figure (5): Fuzzy membership functions for input variables (a: DF, b: MF, and c: LQEF)

Table (1): The fuzzy if-then rules

جدول (۱): قوانین فازی

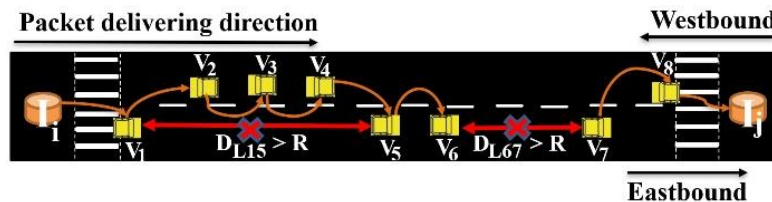
قوانین	فاصله	تحرک	کیفیت لینک	هزینه فازی
۱	نزدیک	آهسته	خوب	عالی
۲	نزدیک	آهسته	متوسط	خوب
۳	نزدیک	آهسته	بد	غیر قابل قبول
۴	نزدیک	متوسط	خوب	خوب
۵	نزدیک	متوسط	متوسط	قابل قبول
۶	نزدیک	متوسط	بد	بد
۷	نزدیک	سریع	خوب	غیر قابل قبول
۸	نزدیک	سریع	متوسط	بد
۹	نزدیک	سریع	بد	خیلی بد
۱۰	متوسط	آهسته	خوب	خوب
۱۱	متوسط	آهسته	متوسط	قابل قبول
۱۲	متوسط	آهسته	بد	بد
۱۳	متوسط	متوسط	خوب	قابل قبول
۱۴	متوسط	متوسط	متوسط	غیر قابل قبول
۱۵	متوسط	متوسط	بد	بد
۱۶	متوسط	سریع	خوب	بد
۱۷	متوسط	سریع	متوسط	بد
۱۸	متوسط	سریع	بد	خیلی بد
۱۹	دور	آهسته	خوب	غیر قابل قبول
۲۰	دور	آهسته	متوسط	بد
۲۱	دور	آهسته	بد	خیلی بد
۲۲	دور	متوسط	خوب	بد
۲۳	دور	متوسط	متوسط	بد
۲۴	دور	متوسط	بد	خیلی بد
۲۵	دور	سریع	خوب	بد
۲۶	دور	سریع	متوسط	خیلی بد
۲۷	دور	سریع	بد	خیلی بد



شکل (۶): تابع عضویت خروجی

Figure (6): Output membership function

در این جا، فرض می‌کنیم که وسایل نقلیه در دو جهت مخالف که به آن باند غربی و شرقی گفته می‌شود، حرکت می‌کنند و سرعت وسایل نقلیه برای این دو باند به ترتیب برابر با  $v_1$  و  $v_2$  در نظر گرفته می‌شوند.



شکل (۷): تابع عضویت خروجی

Figure (7): A two-lane road segment scenario

### ۳-۵-۱- تجزیه و تحلیل احتمال اتصال

در یک سناریو دو طرفه، وسایل نقلیه متحرک می‌توانند ارتباطاتی گذرا با خودروهایی که در جهت مخالف حرکت می‌کنند داشته باشند. تماس‌های فرصت طلبانه بین وسایل نقلیه در حال حرکت در هر دو جهت برای بهبود احتمال اتصال یک بخش از جاده مناسب است. همان‌طور که در شکل (۷) نشان داده شده است، یک لینک بین دو خودرو متوالی تعریف می‌کنیم و تا زمانی که طول این لینک در محدوده‌ی مخابراتی قرار داشته باشد ارتباط بین دو خودرو متصل است. در غیر این صورت مانند لینک بین دو خودروی  $V_5$  و  $V_1$  همان‌طور که در شکل (۷) نشان داده شده است، طول لینک فراتر از محدوده‌ی مخابراتی است. با این وجود وسایل نقلیه که در جهت مخالف حرکت می‌کنند می‌توانند این شکاف را از بین ببرند. با توجه به مطالب فوق، احتمال اتصال یک بخش از جاده بین دو تقاطع  $I_i$  و  $I_j$  به شرح زیر به دست می‌آید [۵]:

$$PC(e_{ij}) = \frac{N_c}{N_T} \quad (16)$$

در این رابطه  $N_c$  تعداد آزمایش‌های شبیه‌سازی را نشان می‌دهد که در آن شبکه در یک بخش از جاده بین دو تقاطع  $I_i$  و  $I_j$  کاملاً متصل بوده و  $N_T$  تعداد کل آزمایش‌های شبیه‌سازی در طول بازه زمانی  $T$  است.

### ۳-۵-۲- تجزیه و تحلیل تأخیر

تأخیر به‌عنوان یک معیار مهم از کیفیت سرویس، می‌تواند به‌طور غیرمستقیم ترافیک کانال‌های انتقال فعلی، تراکم وسایل نقلیه و توزیع وسایل نقلیه در یک بخش از جاده را نشان دهد. تأخیر در ارسال یک بسته در یک بخش از جاده بین دو تقاطع  $I_i$  و  $I_j$  به شرح زیر به دست می‌آید [۵]:

$$D(e_{ij})_k = tr(e_{ij})_k - ts(e_{ij})_k \quad (17)$$

در این رابطه  $ts(e_{ij})_k$  و  $tr(e_{ij})_k$  به ترتیب لحظه‌ی ارسال بسته در تقاطع  $I_i$  و لحظه‌ی دریافت بسته در تقاطع  $I_j$  را نشان می‌دهند. میانگین تأخیر در یک بازه زمانی معین به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$D(e_{ij}) = \frac{\sum_{k=1}^{N_{Rev}} D(e_{ij})_k}{N_{Rev}} \quad (18)$$

در این رابطه  $N_{Rev}$  تعداد بسته‌های دریافتی در یک بازه زمانی معین را نشان می‌دهد. علاوه بر این، واریانس تأخیر در یک بازه زمانی معین به صورت زیر بیان می‌گردد [۵]:

$$D_v(e_{ij}) = \frac{\sum_{k=1}^{N_{Rev}} (D(e_{ij})_k - D(e_{ij}))^2}{N_{Rev}} \quad (19)$$

### ۳-۵-۳- تجزیه و تحلیل نرخ تحویل بسته

در این بخش، از نرخ تحویل بسته به عنوان یک معیار کلیدی برای اندازه‌گیری قابلیت اطمینان در شبکه‌های موردی بین خودرویی استفاده می‌کنیم. نرخ تحویل بسته را برابر با نسبت بسته‌هایی که در خودرو مقصد با موفقیت دریافت شده‌اند به کل بسته‌های ارسال شده توسط خودرو مبدأ تعریف می‌کنیم. نرخ تحویل بسته یک بخش از جاده بین دو تقاطع  $I_i$  و  $I_j$  به شرح زیر به دست می‌آید [۵]:

$$PDR(e_{ij}) = \frac{N_{Rev}}{N_{Sen}} \quad (20)$$

در این رابطه  $N_{Rev}$  و  $N_{Sen}$  به ترتیب تعداد بسته‌های دریافتی و ارسال شده در تقاطع‌های مربوطه در یک بازه زمانی معین را نشان می‌دهند.

### ۴- ارزیابی عملکرد

در این بخش مدل ارائه شده را به وسیله شبیه‌سازی ارزیابی می‌نمائیم. در این مقاله برای شبیه‌سازی پروتکل پیشنهادی از NS-2 و برای شبیه‌سازی ترافیک خودروها از VanetMobiSim استفاده می‌کنیم. هم‌چنین برای ارزیابی کیفیت ویدیوی ارسال شده از ابزار Evalvid استفاده شده است. سناریوی شبیه‌سازی شامل پارامترهای پروتکل، ابعاد شبکه، موقعیت مکانی خودروها و ترافیک داده‌های شبکه است.

محیط شبیه‌سازی یک شبکه  $5000 \times 5000$  متر مربع شامل ۵۸ تقاطع و ۹۲ بخش است که شبیه‌سازی در سناریو شهری انجام می‌شود. تعداد خودروها ( $N_v$ ) در مسیر جاده بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ خودرو متغیر بوده و طول خودرو در مقایسه با طول بخش‌های جاده ناچیز است. حداقل سرعت خودروها ۱۰ متر بر ثانیه و حداکثر سرعت آن‌ها ۳۰ متر بر ثانیه است، دامنه انتقال خودروها ۲۵۰ متر است. مدل حرکتی خودروها IDM\_IM<sup>۲۰</sup> در نظر گرفته شده است. در مدل تحرک IDM\_IM حرکت خودرو به حرکت خودروهایی که در نزدیکی آن قرار دارند، بستگی دارد. به عنوان مثال اگر سرعت خودرویی کاهش یابد وسایل نقلیه دنبال کننده‌ی آن نیز سرعت خود را کاهش می‌دهند. حرکت خودرو توسط تکنیک‌های هوشمند مبتنی بر مدیریت تقاطع کنترل می‌شود. وسایل نقلیه با توجه به چراغ راهنمایی و تابلوی ایست، سرعت خود را تنظیم می‌کنند. اگر چراغ راهنمایی سبز باشد، خودرو از تقاطع عبور کرده و سرعت فعلی خود را هنگام عبور از تقاطع حفظ می‌کند. ولی اگر چراغ راهنمایی قرمز باشد، خودرو به منظور توقف در تقاطع سرعت خود را کم می‌کند. هر خودرو با دیدن تابلو ایست متوقف می‌شود و در صورت عدم حضور وسایل نقلیه در جلوی آن از خیابان عبور خواهد کرد. علاوه بر این، برای ارزیابی جریان سازی ویدیو Bridge-far\_cif به عنوان ویدیوی منتقل شده انتخاب شده که مدت زمان پخش آن ۱۳۹ ثانیه است. برای ارزیابی میانگین داده‌های شبیه‌سازی و رسیدن به فواصل اطمینان رضایت بخش، هر شبیه‌سازی را در حدود ۲۵ تا ۳۰ بار تکرار می‌کنیم. جدول (۲)، تنظیمات پارامترهای شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

Table (2): Parameters used in the simulation

جدول (۲): پارامترهای شبیه‌سازی

پارامترها	مقدار
اندازه‌ی محیط	۵۰۰×۵۰۰ مترمربع
اندازه بسته‌ها	۵۱۲ بایت
دامنه انتقال خودروها	۲۵۰ متر
مدل تحرک خودروها	IDM_IM
پروتکل لایه دو	802.11p
حداکثر آستانه تأخیر ( $D_{th}$ )	۹۰ ثانیه
حداکثر آستانه احتمال اتصال ( $PC_{th}$ )	۰/۵
تعداد مورچه‌های پیش‌رو	۵۰
نرخ ارسال بسته‌ها	۳ بسته/ثانیه
پارامتر وزن فرومون ( $\eta$ )	۰/۳۵
کم‌ترین آستانه‌ی فرومون ( $T_0$ )	۰/۳
مقدار وزن در انتخاب تقاطع TI ( $\alpha$ )	۰/۵
پارامترهای وزن کیفیت سرویس در مسیریابی $\gamma_1$ و $\gamma_2$ و $\gamma_3$	۰/۳، ۰/۳، ۰/۴
پارامتر وزن فرومون محلی ( $\sigma_2$ )	۶
پارامتر وزن فرومون کلی ( $\sigma_1$ )	۵
اندازه بخش جاده ( $X_L$ )	۱۰۰۰ متر
ضریب تبخیر فرومون ( $\rho$ )	۰/۹
فاصله زمانی تبخیر فرومون ( $t^{ex}$ )	۱ ثانیه
حداکثر نرخ تحویل بسته ( $PDR_{th}$ )	۰/۷

#### ۴-۱- تجزیه و تحلیل نتایج شبیه‌سازی

در این بخش، نتایج مقایسه‌ی عملکرد الگوریتم پیشنهادی با پروتکل ارائه شده در مرجع [۵] نشان داده شده است. با توجه به پروتکل پیشنهادی، معیارهای نرخ تحویل بسته، تأخیر انتها به انتها، سربار مسیریابی، نرخ بیشینه سیگنال به نویز و سربار عملیاتی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

نرخ تحویل بسته از نسبت تعداد کل بسته‌های دریافتی به تعداد کل بسته‌های ارسالی در طول زمان شبیه‌سازی به شرح زیر به دست می‌آید:

$$\text{نرخ تحویل بسته} = \frac{\text{تعداد کل بسته‌های دریافتی}}{\text{تعداد کل بسته‌های ارسالی}} \quad (21)$$

تأخیر انتها به انتها از نسبت جمع اختلاف زمان بین دریافت و ارسال تمامی بسته‌ها به تعداد کل بسته‌های دریافتی به دست می‌آید که به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{تأخیر انتها به انتها} = \frac{\sum (\text{زمان ارسال بسته} - \text{زمان دریافت بسته})}{\text{تعداد کل بسته‌های دریافتی}} \quad (22)$$

سربار مسیریابی بر اساس درصد پیام‌های داخل شبکه که حاوی داده‌ای نیستند، تعریف می‌شود که به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{سربار مسیریابی} = \frac{\text{پیام‌های داده} - \text{کل پیام‌ها}}{\text{کل پیام‌ها}} \quad (23)$$

نرخ بیشینه سیگنال به نویز از مهم‌ترین پارامترهای اندازه‌گیری کیفیت سرویس برای ارزیابی کارایی انتقال داده‌های ویدیویی در سطح برنامه کاربردی است. این متغیر میزان کیفیت ویدیوی دریافتی را به صورت زیر محاسبه می‌کند:

$$\text{PSNR} = 10 \log_{10} \left( \frac{255^2}{\text{MSE}} \right) \quad (24)$$

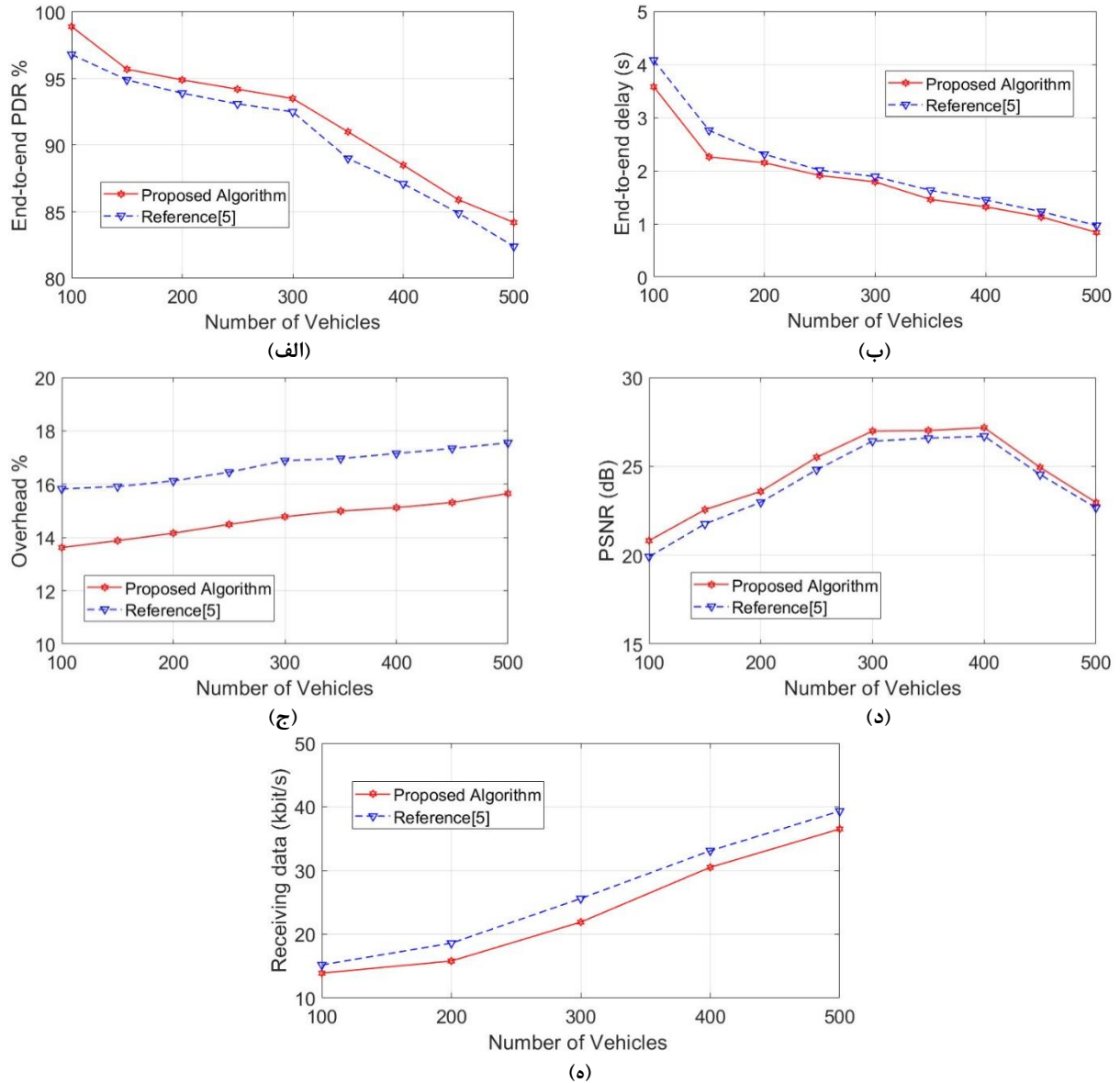
در این رابطه MSE میانگین مربعات خطا بین فریم‌های اصلی و فریم‌های بازسازی شده را نشان می‌دهد.



از جمله سربارهایی که می‌توان برای پروتکل‌های مسیریابی تعریف نمود، سربار مربوط به پردازش عملیاتی است. در این جا مدت زمانی که یک بسته می‌تواند پس از عملیات پردازش از یک گره به گره دیگر منتقل شود، به عنوان سربار عملیاتی در نظر گرفته شده است.

شکل (۸-الف) نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین نرخ تحویل بسته الگوریتم پیشنهادی به ترتیب برابر با  $98/9$  و  $84/2$  درصد بوده و مربوط به حالتی است که تعداد خودروها به ترتیب برابر با  $100$  و  $500$  باشند. همان‌طور که از این شکل استنباط می‌شود میانگین نرخ تحویل بسته با افزایش تعداد خودروها بدتر می‌شود. این امر به این دلیل است که وقتی تعداد خودروها افزایش می‌یابد، بسته‌های ویدیویی ترجیح می‌دهند از طریق لینک‌های بی‌سیم منتقل شوند و باعث می‌شود تا در مقایسه با حالتی که توسط وسایل نقلیه حمل می‌شوند، تداخل و اثرات محو شدن کانال افزایش یابد. این شکل هم‌چنین نشان می‌دهد که میانگین نرخ تحویل بسته الگوریتم پیشنهادی ما نسبت به پروتکل ارائه شده در مرجع [۵] به ازای تعدادهای مختلف خودرو به دلایل زیر بیشتر است. (۱) برای انتخاب گام بعدی به منظور ارسال بسته‌ها از یک پروتکل مسیریابی جغرافیایی مبتنی بر منطق فازی استفاده می‌کنیم. این مکانیزم به‌طور موثری باعث می‌شود تعداد انتقال‌های مجدد کاهش یابد و بار سنگین ترافیک را کاهش دهد. (۲) با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان، رویکرد پیشنهادی بهترین مسیر با بالاترین کیفیت سرویس از نظر نرخ تحویل بسته را انتخاب می‌کند که باعث می‌شود مسیر انتخاب شده مناسب‌ترین مسیر از لحاظ چگالی خودروها باشد و از انتخاب بخش‌های متراکم جاده جلوگیری شود. (۳) در تابع هدف، آستانه‌ای از نرخ تحویل بسته را تعریف کردیم، بنابراین مسیرهای با نرخ تحویل بسته کم‌تر نادیده گرفته می‌شوند. شکل (۸-ب) نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین تأخیر انتها الگوریتم پیشنهادی به ترتیب برابر با  $3/58$  و  $0/84$  ثانیه بوده و مربوط به حالتی است که تعداد خودروها به ترتیب برابر با  $100$  و  $500$  باشند. همان‌طور که انتظار می‌رود، افزایش تعداد خودروها باعث کاهش تأخیر در انتقال می‌شود زیرا قطعی‌های شبکه در طول مسیریابی با افزایش تعداد خودروها بیشتر قابل ترمیم هستند و در نتیجه بسته‌های بیشتری توسط خودروها گام به گام ارسال شده که باعث کاهش تأخیر نسبت به حالتی که توسط وسایل نقلیه حمل شوند، می‌گردد. این شکل هم‌چنین بیانگر این است که تأخیر انتها الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با پروتکل ارائه شده در مرجع [۵] کم‌تر است. دلیل این کاهش این است که رویکرد پیشنهادی از تصمیم‌گیری‌های مسیریابی در تقاطع‌ها بر اساس آخرین مقدار فرمون کلی ذخیره شده در مسیر استفاده می‌کند، که برای تنظیم با تغییرات سریع توپولوژی شبکه مناسب بوده و به صورت وفقی مسیریابی با تأخیر کم‌تر را انتخاب می‌کند. شکل (۸-ج) نشان می‌دهد که کمترین و بیشترین سربار شبکه الگوریتم پیشنهادی به ترتیب برابر با  $13/62$  و  $15/65$  درصد بوده و مربوط به حالتی است که تعداد خودروها به ترتیب برابر با  $100$  و  $500$  باشند. همان‌طور که از این شکل استنباط می‌شود سربار الگوریتم پیشنهادی با افزایش تعداد خودروها افزایش می‌یابد، زیرا بسته‌های کنترلی سلام بخش مهمی از کل سربار تولید شده را اشغال می‌کنند و تعداد آنها عمدتاً توسط تعداد خودروها تعیین می‌شود. در این شکل هم‌چنین مقایسه بین سربار شبکه الگوریتم پیشنهادی و پروتکل ارائه شده در مرجع [۵] نشان داده شده است. الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با پروتکل ارائه شده در مرجع [۵] سربار شبکه کمتری دارد. استفاده از مفهوم تقاطع ترمینال به روش پیشنهادی ما کمک می‌کند تا اکتشاف مسیرهای اضافی را کاهش دهد، که در عوض باعث کاهش سربار شبکه می‌شود. هم‌چنین، با توجه به شکل (۸-د)، راه حل چند مسیره پیشنهادی نسبت به‌شینه سیگنال به نوبز بهتری نسبت به پروتکل ارائه شده در مرجع [۵] فراهم می‌کند. دلیل این نتیجه این است که راه حل چند مسیره پیشنهادی از پروتکل کنترل انتقال برای تضمین انتقال فریم‌های میانی استفاده می‌کند. براساس نتایج شبیه‌سازی، هنگامی که تعداد خودروها از  $100$  به  $300$  افزایش یابد، کیفیت ویدیو الگوریتم پیشنهادی از  $20/82$  به  $26/99$  دسی‌بل افزایش می‌یابد. دلیل این امر این است که افزایش تعداد خودروها به ایجاد اتصالات اضافی برای پخش ویدیو کمک می‌کند. از این شکل می‌توان مشاهده کرد هنگامی که تعداد خودروها از  $300$  به  $400$  افزایش می‌یابد، کیفیت ویدیوی الگوریتم پیشنهادی تقریباً پایدار است. با این وجود، هنگامی که تعداد خودروها از  $400$  به  $500$  افزایش یابد، کیفیت ویدیو الگوریتم پیشنهادی از  $27/18$  به  $22/97$  دسی‌بل کاهش می‌یابد. دلیل این امر این است که افزایش تعداد خودروها در شبکه باعث افزایش تعداد تقاضای جریان‌سازی ویدیو در خودرو مبداء می‌شود. همان‌طور که گفته شد در روش پیشنهادی، به دلیل داشتن پردازش نسبتاً سنگین، هزینه‌هایی را به الگوریتم تحمیل می‌کند؛ از این رو معیار سربار عملیاتی برای اثبات این گفته در نظر گرفته می‌شود. در این جا

مدت زمانی که یک بسته می‌تواند پس از عملیات پردازش از یک گره به گره دیگر منتقل شود، به‌عنوان سربار عملیاتی در نظر گرفته شده است که در این مقاله این معیار به صورت کیلو بیت بر ثانیه محاسبه می‌شود. شکل (۸-ه) نشان می‌دهد که کمترین و بیشترین سربار عملیاتی الگوریتم پیشنهادی به ترتیب برابر با  $13/9$  و  $36/52$  کیلو بیت/ثانیه بوده و مربوط به حالتی است که تعداد خودروها به ترتیب برابر با ۱۰۰ و ۵۰۰ باشند. این شکل هم‌چنین نشان می‌دهد که سربار عملیاتی در الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با پروتکل ارائه شده در مرجع [۵] افزایش یافته و به‌طور میانگین، تعداد بسته داده کمتری در ثانیه از یک گره به گره دیگر منتقل می‌شود.



شکل (۸): مقایسه الگوریتم پیشنهادی با پروتکل ارائه شده در [۵] به ازای تعداد وسایل نقلیه متفاوت: (الف)، (ب)، (ج)، (د) و (ه) به ترتیب

نتایج نرخ تحویل بسته، تاخیر انتها به انتها، سربار شبکه، نسبت بیشینه سیگنال به نویز و سربار عملیاتی را نشان می‌دهند.

Figure (8): A comparison of the suggested algorithm with reference [5] for different numbers of vehicles: (a), (b), (c), (d) and (h) represent the result of end-to-end PDR, end-to-end delay, overhead, PSNR, and receiving data rate, respectively

#### ۴-۲- تجزیه و تحلیل تأثیر تعداد مورچه‌های پیشرو

در آزمایش شبیه‌سازی حاضر تعداد وسایل نقلیه را برابر با ۳۰۰ تعیین کردیم. در جدول (۳) میزان کیفیت سرویس نرمالیزه شده، زمان اکتشاف مسیر و سربار شبکه را به ازای تعداد مختلف مورچه‌های پیشرو ( $N_{FA}$ ) نشان داده شده است. از جدول (۳) می‌توان مشاهده نمود که کیفیت سرویس نرمالیزه شده با تعداد مورچه‌های پیشرو متناسب است. این امر را می‌توان با این

واقعیت توضیح داد که تولید مورچه‌های بیشتر می‌تواند قابلیت اکتشاف مسیریابی را افزایش داده و می‌توانیم مسیرهای نامزد بیشتری را که برای تعیین بهترین مسیر مناسب هستند، به دست آوریم. علاوه بر این، کیفیت سرویس با افزایش تعداد مورچه‌های پیش‌رو از ۵۰ به ۱۵۰ تقریباً ثابت است ولی سربار و زمان اکتشاف مسیر به سرعت خراب می‌شوند. بنابراین تعداد مورچه‌های پیش‌رو نقش اساسی در عملکرد الگوریتم پیشنهادی دارد. در نتیجه، تعداد مورچه‌های پیش‌رو برای همه آزمایش‌های قبلی به منظور برقراری تعادل بین زمان تعیین مسیر، کیفیت سرویس و سربار برابر با ۵۰ تعیین شده است.

Table (3): The effect number of forward ants  
جدول (۳): تأثیر تعداد مورچه‌های پیش‌رو

تعداد مورچه‌های پیش‌رو	کیفیت سرویس	زمان ایجاد مسیر (ثانیه)	سربار (درصد)
۱۰	۰/۸۱۳۵	۰/۹۱۲۵	۲/۸۶
۲۰	۰/۸۸۳۴	۰/۹۸۶۱	۵/۲۳
۵۰	۰/۹۴۱۱	۱/۵۹۲۳	۱۴/۷۸
۱۰۰	۰/۹۴۱۵	۳/۶۵۸۱	۳۴/۲۵
۱۵۰	۰/۹۴۲۱	۶/۲۷۳۲	۵۷/۲۶

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک روش جریان‌سازی ویدیویی چند مسیره بر اساس الگوریتم کلونی مورچگان و تکنیک‌های منطق فازی در شبکه‌های موردی بین خودرویی پیشنهاد شده است. در این روش از یک الگوریتم مبتنی بر کلونی مورچگان به منظور انتخاب بهترین مسیرهای اولیه و ثانویه از بین مسیرهای محاسبه شده بین دو تقاطع ترمینال با توجه به پارامترهای کیفیت سرویس و آستانه کیفیت سرویس از نظر تأخیر، نرخ تحویل بسته و احتمال اتصال استفاده شده است. با استفاده از یک الگوریتم مبتنی بر منطق فازی، خودرو گام بعدی با در نظر گرفتن معیارهای مختلف (موقعیت خودرو، تحرک خودرو و کیفیت لینک بین خودروها) انتخاب می‌شود. به منظور به حداقل رساندن تأخیر، فریم‌های میانی و فریم‌های داخلی در مسیرهای جداگانه با استفاده از الگوریتم مجزا منتقل می‌شوند. علاوه بر این، از پروتکل کنترل انتقال برای انتقال فریم‌های میانی به منظور اطمینان در انتقال استفاده شده است. به منظور کاهش تأخیر در انتقال از پروتکل بسته‌ی داده‌ی کاربر برای انتقال فریم‌های درونی استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که راه حل چند مسیری پیشنهادی به دلیل بهبود کیفیت ویدیو در مقایسه با پروتکل ارائه شده در مرجع [۵] برای جریان‌سازی ویدیو مناسب‌تر است و می‌تواند از نظر معیارهای نرخ تحویل بسته، تأخیر انتها به انتها و سربار عملکرد بهتری نسبت به پروتکل ارائه شده در مرجع [۵] داشته باشد.

## References

### مراجع

- [1] G. Sun, L. Song, H. Yu, V. Chang, X. Du, M. Guizani, "V2V routing in a VANET based on the autoregressive integrated moving average model", IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. 68, no. 1, pp. 908-922, Jan. 2019 (doi: 10.1109/TVT.2018.2884525).
- [2] O. S. Al-Heety, Z. Zakaria, M. Ismail, M. M. Shakir, S. Alani, H. Alsariera, "A comprehensive survey: benefits, services, recent works, challenges, security, and use cases for SDN-VANET", IEEE Access, vol. 8, pp. 91028-91047, May 2020 (doi: 10.1109/ACCESS.2020.2992580).
- [3] M. Azees, P. Vijayakumar, L. J. Deborah, "Comprehensive survey on security services in vehicular ad-hoc networks", IET Intelligent Transport Systems, vol. 10, no. 6, pp. 379-388, August 2016 (doi: 10.1049/iet-its.2015.0072).
- [4] S. More, U. Naik, "Optimal multipath routing for video transmission in VANETs", Wireless Personal Communications, vol. 116, no. 1, pp. 805-827, January 2021 (doi: 10.1007/s11277-020-07740-1).
- [5] M. Vafaei, A. Khademzadeh, M.A. Pourmina, "QoS-aware multi-path video streaming for urban VANETs using ACO algorithm", Telecommunication Systems, vol. 75, no. 1, pp. 79-96, September 2020 (doi: 10.1007/s11235-020-00677-7).

- [6] M. A. Salkuyeh, B. Abolhassani, "Optimal video packet distribution in multipath routing for urban VANETs", *Journal of Communications and Networks*, vol. 20, no. 2, pp. 198-206, April 2018 (doi: 10.1109/JCN.2018.000026).
- [7] H. Xie, A. Boukerche, A. A. F. Loureiro, "A multipath video streaming solution for vehicular networks with link disjoint and node-disjoint", *IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems*, vol. 26, no. 12, pp. 3223-3235, Dec. 2015 (doi: 10.1109/TPDS.2014.2371027).
- [8] A. Aliyu, A. H. Abdullah, N. Aslam, A. Altameem, R. Z. Radzi, R. Kharel, M. Mahmud, S. Prakash, U. M. Joda, "Interference-aware multipath video streaming in vehicular environments", *IEEE Access*, vol. 6, pp. 47610-47626, August 2018 (doi: 10.1109/ACCESS.2018.2854784).
- [9] S. Kamali, J. Opatrny. "A position based ant colony routing algorithm for mobile ad-hoc networks", *Journal of Networks*, vol. 3, no. 4, pp. 459-462, Apr. 2008 (doi: 10.1109/ICWMC.2007.68).
- [10] J. Nzouonta, N. Rajgure, G. Wang, C. Borcea, "Vanet routing on city roads using real-time vehicular traffic information", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 58, no. 7, pp. 3609-3626, Sept. 2009 (doi: 10.1109/TVT.2009.2014455).
- [11] R. Tavakkoli-Moghaddam, N. Safaei, Y. Gholipour, "A hybrid simulated annealing for capacitated vehicle routing problems with the independent route length", *Applied Mathematics and Computation*, vol. 176, no. 2, pp. 445-454, May 2006 (doi: 10.1016/j.amc.2005.09.040).
- [12] G. Zhang, M. Wu, W. Duan, X. Huang, "Genetic algorithm based QoS perception routing protocol for VANETs", *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2018, no. 1, pp. 1-10, Jan. 2018 (doi: 10.1155/2018/3897857).
- [13] E. Moridi, H. Barati, "RMRPTS: A reliable multi-level routing protocol with tabu search in VANET", *Telecommunication Systems*, vol. 65, no. 1, pp. 127-137, May 2017 (doi: 10.1007/s11235-016-0219-6).
- [14] G. Li, L. Boukhatem, J. Wu, "Adaptive quality of service based routing for vehicular ad hoc networks with ant colony optimization", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 66, no. 4, pp. 3249-3264, April 2017 (doi: 10.1109/TVT.2016.2586382).
- [15] M. H. Eiza, T. Owens, Q. Ni, Q. Shi, "Situation-aware QoS routing algorithm for vehicular ad hoc networks", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 64, no. 12, pp. 5520-5535, Dec. 2015 (doi: 10.1109/TVT.2015.2485305).
- [16] F. Goudarzi, H. Asgari, H. S. Al-Raweshidy, "Traffic-aware VANET routing for city environments—A protocol based on ant colony optimization", *IEEE Systems Journal*, vol. 13, no. 1, pp. 571-581, March 2019 (doi: 10.1109/JSYST.2018.2806996).
- [17] M. Asefi, J. W. Mark, X. S. Shen, "A Mobility-aware and quality-driven retransmission limit adaptation scheme for video streaming over VANETs", *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 11, no. 5, pp. 1817-1827, May 2012 (doi: 10.1109/TWC.2012.030812.111064).
- [18] M. Xing, L. Cai, "Adaptive video streaming with intervehicle relay for highway VANET scenario", *Proceedings of the IEEE/ICC*, pp. 5168-5172, Ottawa, Canada, Nov. 2012 (doi: 10.1109/ICC.2012.6364143).
- [19] K. Kastsaros, M. Dianati, R. Tafazolli, R. Kernchen, "CLWPR- A novel cross layer optimized position based routing protocol for VANETs", *Proceedings of the IEEE/VNC*, pp. 139-146, Amsterdam, Netherlands, Nov. 2011 (doi: 10.1109/VNC.2011.6117135).
- [20] C. Wu, S. Ohzahata, T. Kato, "Flexible, portable, and practicable solution for routing in VANETs: A fuzzy constraint Q-learning approach", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 62, no. 9, pp. 4251-4263, Nov. 2013, (doi: 10.1109/TVT.2013.2273945).
- [21] O. Alzamzami, I. Mahgoub, "Fuzzy logic-based geographic routing for urban vehicular networks using link quality and achievable throughput estimations", *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, vol. 20, no. 6, pp. 2289-2300, June 2019 (doi: 10.1109/TITS.2018.2867177).
- [22] H. Xie, A. Boukerche, A. A. F. Loureiro, "MERVS: A novel multichannel error recovery video streaming protocol for vehicle ad hoc networks", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 65, no. 2, pp. 923-935, Feb. 2016 (doi: 10.1109/TVT.2015.2397862).

زیر نویس‌ها:

1. Vehicular ad-hoc network
2. Federal Communication Commission
3. Road side units (RSU)
4. Dedicated short range communications (DSRC)
5. Media access control (MAC)
6. Vehicle to vehicle (V2V)
7. Vehicle to RSU (V2R)
8. Video streaming

9. Group of pictures (GOP)
10. Simulated annealing (SA)
11. Genetic algorithm (GA)
12. Tabu search (TS)
13. Ant colony optimization (ACO)
14. Quality of Service (QoS)
15. Topology based routing
16. Position based routing
17. Efficient GSR
18. Transmission control protocol (TCP)
19. User datagram protocol (UDP)
20. Portable fuzzy constraint Q-learning protocol based on AODV
21. Reinforcement learning
22. Fuzzy Logic based Directional Geographic Routing
23. Intra-frame
24. Inter-frame
25. Source vehicle's terminal intersection (TIS)
26. Destination vehicle's terminal intersection (TID)
27. Global positioning system (GPS)
28. Navigation system
29. Road segment
30. Forward ants
31. Pheromone
32. Backward ants
33. Hello messages
34. Broadcast
35. Distance factor (DF)
36. Mobility Factor (MF)
37. Link quality estimation factor (LQEF)
38. Acknowledgement (ACK)
39. Center of gravity
40. Intelligent driver model with intersection management