

ارائه‌ی یک الگوریتم زمان‌بندی برای کاهش ترافیک شهری به‌صورت هوشمند برای ارتقای کیفیت سرویس (QoS) در شبکه‌های موردی بین خودرویی (VANET)

نوع مقاله:

پژوهشی اصیل

تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۹/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۹

تاریخ چاپ: ۱۴۰۵/۰۳/۳۱

مشخصات نویسندگان:

۱. ایرج رضایی: گروه کامپیوتر، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران
۲. عباس کریمی*: گروه کامپیوتر، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
۳. فرانہ زر افشان: گروه کامپیوتر، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: karimi@iau.ac.ir



© ۱۴۰۵ تمامی

حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است.

انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) صورت گرفته است.

شیوه استناددهی: رضایی، ایرج، کریمی، عباس، و زرافشان، فرانہ. (۱۴۰۵). ارائه‌ی یک الگوریتم زمان‌بندی برای کاهش ترافیک شهری به‌صورت هوشمند برای ارتقای کیفیت سرویس (QoS) در شبکه‌های موردی بین خودرویی (VANET). *حکمرانی و شهر هوشمند*، ۲(۱)، ۱۶-۱.

چکیده

مدیریت ترافیک در شهرهای هوشمند، نیازمند تصمیم‌گیری سریع و تبادل بلادرنگ داده میان خودروها است. شبکه‌های موردی بین خودرویی (VANET) این بستر ارتباطی را فراهم می‌کنند، اما پویایی شدید توپولوژی، تراکم متغیر خودروها و محدودیت کانال بی‌سیم، تضمین کیفیت سرویس (QoS) را برای پیام‌های ناهمگن دشوار می‌سازد. این پژوهش، یک الگوریتم زمان‌بندی هوشمند و محتوامحور را به‌منظور کاهش ازدحام شبکه و پشتیبانی از کاهش ترافیک شهری ارائه می‌کند. در روش پیشنهادی، پیام‌ها بر اساس نوع کاربرد در صف‌های اولویت‌دار (اورژانسی، ویدیویی، صوتی و متفرقه) تفکیک شده و زمان‌بندی ارسال به‌صورت تطبیقی، با هدف کاهش تأخیر انتهابه‌انتهای و افزایش نرخ تحویل بسته انجام می‌شود. برای بهبود هم‌زمان شاخص‌های QoS، تنظیم دوره‌ای پارامترهای لایه MAC و توان ارسال، به‌عنوان یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفی لحاظ گردید. سپس با پیش‌بینی تحرک و تشکیل خوشه‌بندی محتوامحور، مسیریابی و ارسال داده در هر بازه زمانی بازپیکربندی شد. ارزیابی عملکرد در شبیه‌ساز شهری مبتنی بر استاندارد IEEE 802.11p، با سناریوهای تغییر تعداد خودروها، سرعت و برد رادیویی صورت پذیرفت. نتایج نشان داد روش پیشنهادی نسبت به مدل‌های مرجع، تأخیر انتهابه‌انتهای را در شرایط پرتراکم کاهش داده و نرخ تحویل موفق را بهبود می‌بخشد. همچنین پیام‌های اورژانسی با تأخیر کمتر و پایداری بهتری منتقل می‌شوند که برای کاربردهای ایمنی حیاتی است. این صف‌بندی چندسطحی رقابت پیام‌های عادی را کاسته و منابع را به جریان‌های حساس تخصیص می‌دهد. درمجموع، ترکیب زمان‌بندی اولویت‌محور، بازسازی توپولوژی محتوامحور و تنظیم تطبیقی MAC، چارچوبی کارآمد برای ارتقای QoS و کاهش اثرات ازدحام ارائه می‌نماید.

واژگان کلیدی: شبکه‌های موردی بین خودرویی (VANET)، زمان‌بندی محتوامحور، کیفیت سرویس (QoS)، کنترل ازدحام، خوشه‌بندی پویا

Presenting a Scheduling Algorithm to Intelligently Reduce Urban Traffic to Improve Quality of Service (Qos) in Vehicular Ad Hoc Networks (Vanets)

Article Type:
Original Research

Submit Date: 2025/11/29
Revise Date: 2026/01/12
Accept Date: 2026/02/28
Publish Date: 2026/06/21



© 2026 the authors. This is an open access article under the terms of the [CC BY-NC 4.0 License](#).

Authors' Information:

1. Iraj Rezaei: Department of Computer Engineering, Ar.C., Islamic Azad University, Arak, Iran
2. Abbas Karimi*: Department of Computer Engineering, Ka.C., Islamic Azad University, Karaj, Iran
3. Faraneh Zarafshan: Department of Computer Engineering, Ka.C., Islamic Azad University, Karaj, Iran

* Corresponding author's email: akarimi@iau.ac.ir

How to cite this article: Rezaei, I., Karimi, A., & Zarafshan, F. (2026). Presenting a Scheduling Algorithm to Intelligently Reduce Urban Traffic to Improve Quality of Service (Qos) in Vehicular Ad Hoc Networks (Vanets). *Governance and Smart City*, 2(1), 1-16.

Abstract

Urban traffic management in smart cities requires rapid decision-making and real-time data exchange among vehicles. Vehicular Ad-hoc Networks (VANETs) provide this communication infrastructure, but high topology dynamics, variable vehicle density, and wireless channel limitations make it difficult to guarantee Quality of Service (QoS) for heterogeneous messages. This study proposes an intelligent, content-centric scheduling algorithm to mitigate network congestion and support urban traffic reduction. In the proposed method, messages are categorized based on application type into priority queues (emergency, video, audio, and miscellaneous), and transmission scheduling is performed adaptively to reduce end-to-end delay and increase the packet delivery ratio. To simultaneously improve QoS metrics, the periodic adjustment of MAC layer parameters and transmission power was considered a multi-objective optimization problem. Then, with mobility prediction and content-centric clustering, routing and data transmission were reconfigured in each time slot. Performance evaluation was conducted in an urban simulator based on the IEEE 802.11p standard under scenarios involving varying vehicle counts, speeds, and radio ranges. Results demonstrated that the proposed method, compared to reference models, reduces end-to-end delay in dense conditions and improves the successful delivery ratio. Furthermore, emergency messages are transmitted with lower delay and better stability, which is vital for safety applications. This multi-level queuing mechanism reduces competition among ordinary messages and allocates resources to time-sensitive streams. Overall, combining priority-based scheduling, content-centric topology reconstruction, and adaptive MAC adjustment provides an efficient framework to enhance QoS and mitigate congestion effects.

Keywords: *Vehicular Ad Hoc Networks (Vanets), Content-Based Scheduling, Quality of Service (Qos), Congestion Control, Dynamic Clustering*

رشد شتابان شهرنشینی، افزایش نرخ مالکیت خودرو و پیچیده‌تر شدن الگوهای سفرهای روزانه، مدیریت ترافیک شهری را به یکی از گلوگاه‌های اصلی کارایی و تاب‌آوری شهرهای هوشمند تبدیل کرده است. در شهرهای پرتراکم، رخداد‌های کوچک مانند ترمز ناگهانی، تغییر مسیرهای کوتاه یا اختلال در چراغ‌های راهنمایی می‌تواند به موج‌های ازدحام و زنجیره‌ای از توقف و حرکت منجر شود و در نتیجه، زمان سفر، مصرف انرژی، انتشار آلاینده‌ها و احتمال وقوع تصادف افزایش یابد. تجربه‌های پیاده‌سازی و نمونه‌های واقعی استقرار شبکه‌های موردی بین‌خودرویی^۱ (VANET) نشان می‌دهند اتکا به داده‌های بلادرنگ و ارتباطات خودرویی می‌تواند دقت تشخیص وضعیت ترافیک و سرعت واکنش سامانه‌های مدیریت ترافیک را به‌طور محسوسی افزایش دهد (Magar et al., 2025). با این حال، تحقق «هوشمندی» در مدیریت ترافیک تنها با نصب حسگر یا گردآوری داده حاصل نمی‌شود، بلکه نیازمند الگوریتم‌هایی است که بتوانند در شرایط پویا، منابع ارتباطی محدود را مدیریت و کیفیت سرویس را برای کاربردهای حیاتی تضمین کنند (Khan, 2025).

شبکه‌های موردی بین‌خودرویی (VANET) به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های کلیدی سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند، بستر ارتباط مستقیم خودرو با خودرو و خودرو با زیرساخت را فراهم می‌کنند و امکان انتشار پیام‌های ایمنی، اطلاع‌رسانی ترافیکی، هماهنگی حرکت کاروان‌ها و پشتیبانی از خدمات چندرسانه‌ای را فراهم می‌آورند (Chango et al., 2024). ماهیت بسیار پویای توپولوژی، سرعت زیاد گره‌ها، تغییرات سریع چگالی خودرو در معابر شهری و وجود کانال‌های خطاپذیر باعث می‌شود تضمین شاخص‌های کیفیت سرویس مانند تأخیر انتهابه‌انتهای، نرخ تحویل بسته، گذردهی و نوسان تأخیر دشوار شود (Belamri et al., 2021). از سوی دیگر، بسیاری از کاربردهای VANET، به‌ویژه پیام‌های ایمنی و هشدارهای اضطراری، حساسیت زمانی زیادی دارند و هرگونه افزایش تأخیر یا از دست رفتن بسته می‌تواند به‌طور مستقیم به کاهش ایمنی یا ناکارآمدی مدیریت ترافیک منجر شود (Alaya et al., 2021).

در محیط شهری، رابطه‌ای دوسویه میان ازدحام ترافیکی و ازدحام شبکه برقرار است: افزایش تراکم خودروها تعداد فرستنده‌ها و حجم پیام‌ها را زیاد می‌کند و این امر به افزایش برخورد‌ها، صف‌های MAC^۲ و افت کیفیت سرویس^۳ (QoS) منجر می‌شود؛ از سوی دیگر، افت QoS باعث تأخیر در انتشار هشدارها و تصمیم‌گیری‌های دیرنگام می‌شود که خود می‌تواند شدت ازدحام فیزیکی را افزایش دهد (Tadesse et al., 2024; Giripunje et al., 2022). بنابراین، راهکارهایی که هم‌زمان بر کاهش ازدحام شبکه و بهبود تصمیم‌گیری ترافیکی تمرکز کنند، اهمیت بسیار زیادی دارند. در این میان، زمان‌بندی پیام‌ها و مدیریت صف‌ها به‌عنوان یکی از اهرم‌های مستقیم کنترل بار شبکه، نقشی تعیین‌کننده در تضمین کیفیت سرویس دارد (Dinge et al., 2017). مبانی زمان‌بندی در VANET نشان می‌دهد اولویت‌بندی هوشمند، تخصیص پویا به بازه‌های زمانی و کنترل نرخ ارسال می‌توانند از «طوفان پخش» جلوگیری کنند و پیام‌های حیاتی را با تأخیر کم‌تر به مقصد برسانند (Hussin

¹ Vehicular Ad Hoc Networks

² Main Arterial Control

³ Quality of Service



در سال‌های اخیر، طیفی از رویکردها برای بهبود QoS در VANET پیشنهاد شده است که از مسیریابی آگاه از کیفیت سرویس و خوشه‌بندی تا طراحی بین‌لایه‌ای و روش‌های هوشمند مبتنی بر یادگیری را شامل می‌شود (Gomathy & Nagarani, 2025; Lakshmi et al., 2022). خوشه‌بندی به‌ویژه در محیط‌های شهری سه‌بعدی و خیابان‌های پرتقاطع می‌تواند از طریق کاهش سربار مسیریابی و مدیریت بهتر انتشار پیام به پایداری شبکه کمک کند، اما عملکرد آن به شرایط تراکم و رفتار رانندگان وابسته است و در سناریوهای ازدحامی ممکن است نیازمند تنظیمات تطبیقی باشد (Al-Obaidi et al., 2025). همچنین برخی مطالعات با تمرکز بر بهینه‌سازی مسیرها و انتخاب گره‌های سرخوشه به پایش گره‌های مخرب و حفظ کیفیت سرویس پرداخته‌اند تا تأثیر تخریب‌گر بر شاخص‌های سرویس کاهش یابد (Alfarizi et al., 2025). فاطمی دخت و رفسنجانی، (۲۰۲۰). باوجود این، هنوز به مسئله‌ی «زمان‌بندی آگاه از ترافیک شهری» — یعنی پیوند دادن زمان‌بندی ارتباطی با هدف کاهش تراکم فیزیکی معابر — به‌صورت جامع و الگوریتمیک کم‌تر توجه شده است.

علاوه بر چالش‌های فنی، امنیت و قابلیت اعتماد نیز بر کیفیت سرویس و کارایی مدیریت ترافیک اثرگذار است. بررسی‌ها نشان می‌دهند حملات یا داده‌های جعلی می‌توانند تصمیم‌های کنترل ترافیک را منحرف کنند و با ایجاد گزارش‌های ساختگی از تراکم یا حادثه، مسیرهای جایگزین نامناسب تولید کنند (Wheeder et al., 2024). در همین راستا، مطالعات امنیتی بر ضرورت پیوند دادن سازوکارهای احراز هویت و یکپارچگی پیام با مدیریت سرویس تأکید می‌کنند، زیرا بار حاصل از سازوکارهای امنیتی نیز می‌تواند بر تأخیر و گذردهی اثر بگذارد (Hamdi et al., 2021). حتی حملات نوظهور مانند «خودروی شب» می‌توانند با ایجاد اثر نامتعارف در جریان ترافیک، عملکرد شبکه و تصمیم‌های کنترلی را دچار اختلال کنند و نیاز به راهکارهای مقاوم برای زمان‌بندی و پالایش پیام‌ها را افزایش دهند (Drahman et al., 2026).

از منظر خدمات، کاربردهای چندرسانه‌ای و جریان‌های ویدیویی در خودروهای متصل، نیازمند مدیریت دقیق‌تر کیفیت سرویس و زمان‌بندی پایدارتر است، زیرا نوسان در تأخیر یا افت بسته می‌تواند کیفیت تجربه‌ی کاربر را کاهش دهد (Sarvade & Kulkarni et al., 2023). در کنار این موارد، رویکردهای فازی و هوشمند برای بهبود تصمیم‌گیری مسیریابی و سرویس‌گرایی در VANET مطرح شده‌اند که می‌توانند مبنای طراحی سیاست‌های اولویت‌دهی در زمان‌بندی نیز قرار گیرند (Subramaniam, 2017; Siddhartha, 2020). همچنین استفاده از یادگیری ماشین برای تشخیص ناهنجاری مسیر یا رفتارهای غیرعادی می‌تواند به پالایش داده‌های ورودی سامانه زمان‌بندی کمک کند و از تزریق اطلاعات گمراه‌کننده به فرایند تصمیم‌گیری جلوگیری کند (Zhang & Su, 2025).

در حوزه‌ی ارزیابی، تفاوت‌های محیطی مانند عرض معبر، ساختمان‌های بلند، تقاطع‌های متوالی و تغییرات سریع تراکم، سبب می‌شود نتایج بسیاری از روش‌ها به‌شدت به مدل تحرک و سناریوی ترافیکی وابسته باشد (Tripp Barba, 2013). از این‌رو، طراحی یک الگوریتم زمان‌بندی که با تراکم شهری سازگار باشد و بتواند در سناریوهای متنوع، کارایی و کیفیت سرویس را هم‌زمان بهبود دهد، مسئله‌ای مهم و کاربردی است. مرورهای تخصصی نیز نشان می‌دهند که بخش قابل‌توجهی از پژوهش‌ها یا بر کیفیت سرویس شبکه تمرکز کرده‌اند یا بر مدیریت ترافیک شهری و حلقه‌ی اتصال این دو، یعنی سیاست زمان‌بندی پیام بر مبنای وضعیت ترافیک، هنوز جای توسعه دارد (Ravi et al., 2023).



در ادبیات فارسی نیز مطالعاتی با هدف ارتقای خدمات و مدیریت شهری مبتنی بر داده و شبکه‌های هوشمند انجام شده است. بلوچ‌زهی و همکاران (۱۴۰۲) نشان دادند استفاده‌ی هم‌زمان از واحدهای کنار جاده‌ای و خودروهای پارک‌شده در محیط شهری می‌تواند کیفیت خدمات شبکه‌های خودرویی را تقویت کند. شیدایی و حیدری (۱۴۰۰) بر ضرورت مدل‌های مکان‌محور و داده‌بنیاد برای مدیریت و توسعه‌ی شهرهای الکترونیکی تأکید کردند که با منطق تصمیم‌گیری مکانی در مدیریت ترافیک هم‌راستا است. همچنین شیرویه‌پور و همکاران (۱۴۰۲) نقش مدیریت بهینه و هوشمند منابع را در پایداری شهرهای هوشمند برجسته کردند و دست‌آهنین و همکاران (۱۴۰۳) نشان دادند تغییرات کالبدی و الگوهای توسعه‌ی شهری می‌تواند بر رفتار ترافیکی و نیاز به سیاست‌های هوشمند اثرگذار باشد. از منظر شبکه‌های بین‌خودرویی، سعیدی و بابائی (۱۴۰۱) در پژوهش خود به طراحی الگوریتم مسیریابی مبتنی بر روش‌های فراابتکاری برای VANET پرداختند و سادات‌پور و همکاران (۱۴۰۲) بر کاربرد شبکه‌های وسایل نقلیه در مدیریت ترافیک پلیس هوشمند و ضرورت سازوکارهای کارآمد برای تبادل پیام تأکید کردند.

با جمع‌بندی مبانی نظری و پیشینه‌ی پژوهش، می‌توان گفت چالش اصلی در شبکه‌های VANET شهری، هم‌زمانی نیاز به کاهش ازدحام فیزیکی معابر و تضمین کیفیت سرویس ارتباطی برای پیام‌های نااهمگن است. پژوهش حاضر با ارائه‌ی یک الگوریتم زمان‌بندی هوشمند، تلاش می‌کند با اولویت‌دهی پویا به پیام‌ها، کنترل بار کانال و سازگاری با وضعیت تراکم از یک‌سو ازدحام شبکه و تأخیر ارتباطی را کاهش دهد و از سوی دیگر، با پشتیبانی از تصمیم‌گیری ترافیکی، به کاهش تراکم شهری و ارتقای کیفیت سرویس در شبکه‌های بین‌خودرویی کمک کند.

روش‌شناسی

روش‌شناسی پژوهش حاضر با هدف طراحی و ارزیابی یک الگوریتم زمان‌بندی هوشمند در شبکه‌های موردی بین‌خودرویی تدوین شده است که هدف از آن کاهش تراکم ترافیک شهری و ارتقای کیفیت سرویس است. این پژوهش از نظر هدف، در زمره‌ی تحقیقات کاربردی و از حیث ماهیت، توسعه‌ای محسوب می‌شود، زیرا تمرکز اصلی آن ارائه‌ی یک راهکار الگوریتمی جدید و ارزیابی کارایی آن در محیط‌های ارتباطی پویاست. رویکرد تحقیق کمی است و فرایند مطالعه بر پایه‌ی مدل‌سازی سیستم، طراحی الگوریتم، شبیه‌سازی و تحلیل عملکرد انجام شده است. چارچوب کلی پژوهش مبتنی بر شبیه‌سازی شبکه‌ی ارتباطی بین‌خودرویی در محیط شهری و بررسی رفتار الگوریتم پیشنهادی تحت شرایط مختلف ترافیکی و ارتباطی است.

در این پژوهش، شبکه‌ی موردی بین‌خودرویی به شکل محیط ارتباطی پویایی مدل‌سازی شد که در آن هر وسیله‌ی نقلیه‌ای به مثابه‌ی گرهی متحرک با قابلیت ارسال، دریافت و پردازش داده در نظر گرفته می‌شود. ارتباط میان گره‌ها بر اساس ساختار ارتباط مستقیم خودرو با خودرو و خودرو با زیرساخت شکل می‌گیرد و شبکه فاقد کنترل‌کننده‌ی مرکزی فرض شده است. با توجه به ماهیت متحرک گره‌ها، تغییرات سریع توپولوژی شبکه، ناپایداری پیوندهای ارتباطی و محدودیت منابع کانال بی‌سیم در طراحی مدل سیستم لحاظ شد تا شرایط واقعی ترافیک شهری بازنمایی شود. پارامترهایی نظیر سرعت حرکت خودروها، فاصله‌ی بین گره‌ها، تراکم ترافیکی، برد ارتباط رادیویی و الگوی تحرک وسایل



نقلیه متغیرهای تأثیرگذار در عملکرد شبکه تعریف شدند.

به منظور ارتقای کیفیت سرویس، مسئله‌ی تحقیق به صورت یک مسئله‌ی بهینه‌سازی چندهدفی تعریف شد. در این چارچوب، شاخص‌های کلیدی کیفیت سرویس شامل تأخیر انتها به انتها، میزان گذردهی شبکه و نرخ اتلاف بسته‌های اطلاعاتی به عنوان معیارهای اصلی ارزیابی انتخاب شدند. برای بهبود هم‌زمان این شاخص‌ها، پارامترهای لایه‌ی دسترسی رسانه در شبکه به صورت تطبیقی تنظیم شدند. در این مرحله، فرایند بهینه‌سازی با هدف بهره‌برداری کارآمد از منابع ارتباطی و کاهش ازدحام کانال انجام شد تا بستر مناسبی برای اجرای سازوکار زمان‌بندی داده فراهم شود. تنظیم پویای پارامترهای ارتباطی موجب افزایش پایداری پیوندها و کاهش تأخیر انتقال پیام در شرایط پرتراکم شد.

در ادامه، الگوریتم زمان‌بندی پیشنهادی با رویکرد محتوای محور طراحی شد. در این الگوریتم، داده‌های موجود در شبکه بر اساس نوع کاربرد و سطح اهمیت به صف‌های زمان‌بندی متفاوت تقسیم شدند. برای پیام‌های اضطراری، اطلاعات ایمنی، داده‌های خدماتی و پیام‌های عادی اولویت انتقال متفاوتی در نظر گرفته شد تا منابع شبکه به صورت هدفمند تخصیص یابد. فرایند زمان‌بندی به گونه‌ای طراحی شد که پیام‌های حساس به زمان در کوتاه‌ترین بازه‌ی ممکن ارسال شوند و از ایجاد ازدحام ارتباطی در اثر ارسال هم‌زمان داده‌های کم‌اهمیت جلوگیری شود. این ساختار صف‌بندی چندسطحی امکان مدیریت هوشمند بار ترافیکی شبکه را فراهم کرد.

در گام بعدی، به منظور افزایش پایداری ارتباطات، موقعیت نسبی گره‌ها و الگوی حرکتی خودروها تحلیل شد. فاصله‌ی میان خودروها بر اساس قدرت سیگنال دریافتی برآورد شد و با استفاده از اطلاعات سرعت نسبی، موقعیت آینده‌ی گره‌ها در یک بازه‌ی زمانی مشخص پیش‌بینی شد. این پیش‌بینی امکان شناسایی پیوندهای پایدارتر و جلوگیری از انتخاب مسیرهای ناپایدار را فراهم می‌کرد. اطلاعات حاصل از ماندگاری ارتباط میان گره‌ها در قالب ماتریسی ارتباطی ذخیره شد و از آن‌ها به عنوان ورودی فرایند تشکیل توپولوژی شبکه استفاده شد.

در مرحله‌ی بعد، ساختار توپولوژی شبکه به صورت محتوای محور ایجاد شد. هر گره شبکه با تحلیل داده‌های موجود در حافظه‌ی بافر خود، نوع محتوای غالب قابل‌پردازش را شناسایی و برچسبی متناسب با آن دریافت کرد. بر اساس این برچسب‌ها و الگوی حرکتی خودروها، گره‌های دارای ویژگی مشابه در خوشه‌های ارتباطی سازمان‌دهی شدند. هدف از خوشه‌بندی، کاهش سربار مسیریابی، محدودسازی انتشار پیام و افزایش کارایی فرایند انتقال داده در محیط‌های پرتراکم شهری بود. پس از تشکیل خوشه‌ها، برای هر خوشه یک گره به عنوان سرخوشه انتخاب شد که وظیفه‌ی مدیریت ارتباطات، هدایت بسته‌های اطلاعاتی و انتخاب مسیر انتقال داده را بر عهده داشت.

فرایند مسیریابی در شبکه بر اساس ساختار خوشه‌بندی و اولویت محتوای داده انجام شد. در این روش، سرخوشه‌ها مسئول انتخاب گره‌های میانی و تعیین مسیر انتقال بسته‌ها متناسب با سطح اولویت پیام بودند. ترکیب مسیریابی محتوای محور با سازوکار زمان‌بندی سبب شد ارسال داده‌ها علاوه بر کوتاه‌ترین مسیر، بر مبنای اهمیت سرویس نیز انجام شود. این رویکرد موجب کاهش تأخیر انتقال پیام‌های حیاتی و افزایش کارایی کلی شبکه در شرایط پرتراکم شد.

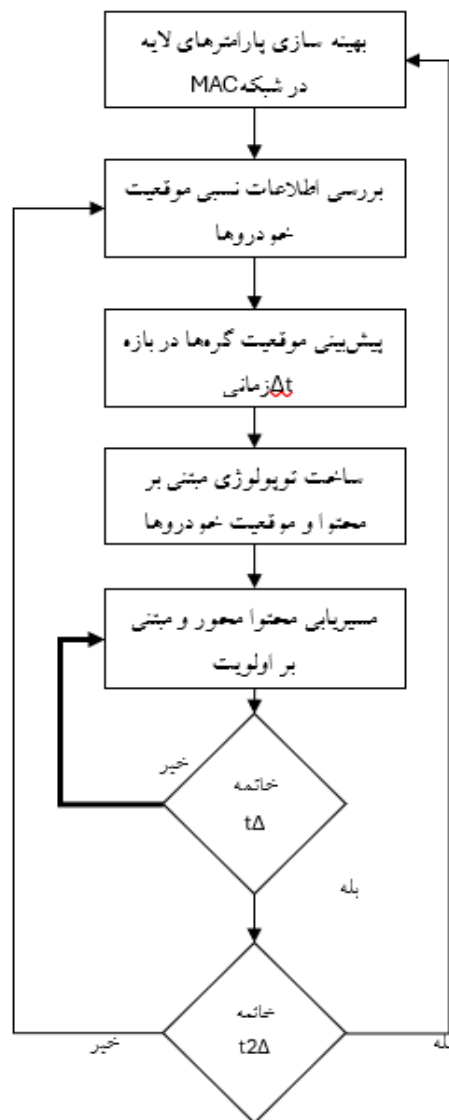
به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی، مدل طراحی‌شده در محیط شبیه‌سازی شبکه پیاده‌سازی و سناریوهای مختلف شهری بررسی شد. ارزیابی عملکرد تحت شرایط متفاوت شامل تغییر تعداد خودروهای فعال، تغییر سرعت حرکت وسایل نقلیه و تغییر برد ارتباطی گره‌ها



انجام شد تا میزان پایداری الگوریتم در شرایط متنوع مشخص شود. شاخص‌های عملکردی شامل تأخیر انتهابه‌انتهای، نرخ تحویل موفق بسته، میزان اتلاف داده و گذردهی شبکه‌ی اندازه‌گیری و با روش‌های مرجع مقایسه شدند.

نتایج

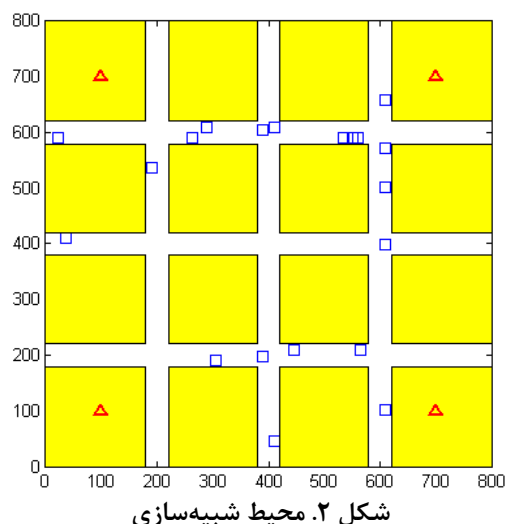
به‌منظور ارزیابی کارایی الگوریتم زمان‌بندی هوشمند پیشنهادی در شبکه‌های موردی بین‌خودرویی، مجموعه‌ای از آزمایش‌های شبیه‌سازی در محیط شهری انجام شد. ساختار کلی روش پیشنهادی که شامل بهینه‌سازی دوره‌ای پارامترهای لایه‌ی MAC، پیش‌بینی تحرک وسایل نقلیه، تشکیل توپولوژی محتوا محور و زمان‌بندی ارسال داده‌ها بر اساس سطح اولویت است، در شکل ۱ نمایش داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، فرایند پیشنهادی با تنظیم تطبیقی پارامترهای ارتباطی آغاز می‌شود و سپس با بازسازی پویای توپولوژی شبکه، فرایند مسیریابی و زمان‌بندی داده‌ها متناسب با شرایط لحظه‌ای ترافیک ادامه می‌یابد.



شکل ۱. دیاگرام ساختار روش پیشنهادی

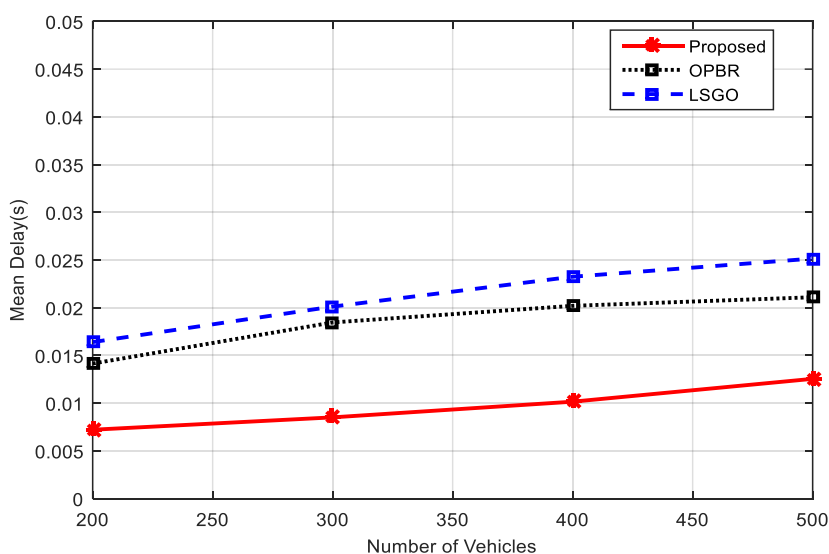


محیط شبیه‌سازی به صورت یک شبکه‌ی حمل‌ونقل شهری شامل خیابان‌ها و تقاطع‌ها مدل‌سازی شد که در آن خودروها به‌منابه‌ی گره‌های متحرک شبکه‌ی VANET عمل می‌کنند. نمونه‌ی محیط پیاده‌سازی‌شده در شکل ۲ ارائه شده است. در این محیط، خودروها با سرعت و جهت حرکت تصادفی حرکت می‌کردند و ارتباطات مبتنی بر استاندارد IEEE 802.11p برقرار می‌شد. هدف اصلی آزمایش‌ها، بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی از منظر شاخص‌های کیفیت سرویس شامل تأخیر انتهابه‌انتهای و نرخ تحویل موفق بسته در وضعیت‌های ترافیکی مختلف بود.



شکل ۲. محیط شبیه‌سازی

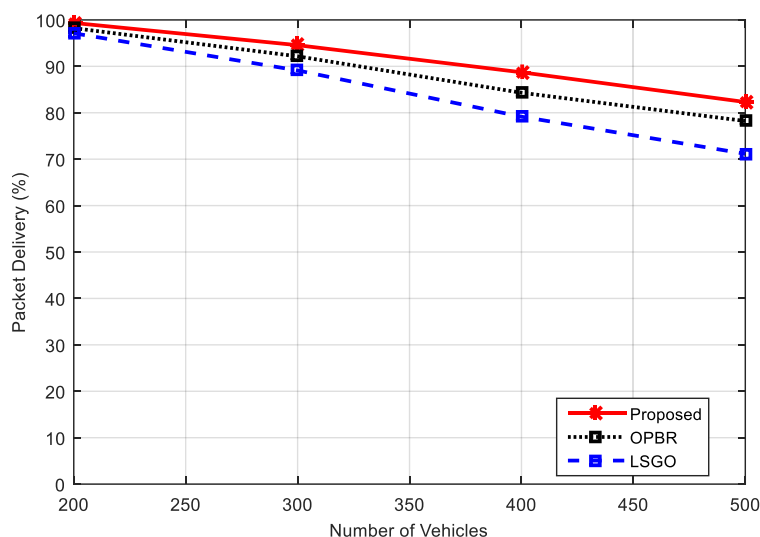
در نخستین سناریو تأثیر تغییر تعداد خودروهای موجود در شبکه بر عملکرد الگوریتم بررسی شد. نتایج نشان داد با افزایش تعداد گره‌های شبکه، میزان تأخیر انتهابه‌انتهای روند افزایشی پیدا می‌کند که این موضوع نتیجه‌ی افزایش تراکم ارتباطات و رشد حجم تبادلات داده در شبکه است. باوجود افزایش بار ترافیکی، روش پیشنهادی در تمامی حالات عملکردی بهتر از روش‌های مرجع داشت و توانست تأخیر انتقال داده را در سطح پایین‌تری حفظ کند. این موضوع بیانگر توانایی الگوریتم در مدیریت منابع ارتباطی و تنظیم هوشمند پارامترهای شبکه در وضعیت پرتراکم شهری است. تغییرات تأخیر برحسب تعداد خودروها در شکل ۳ نمایش داده شده است.



شکل ۳. نمودار تأخیر انتهابه‌انتهای به‌ازای تعداد مختلف گره‌های شبکه



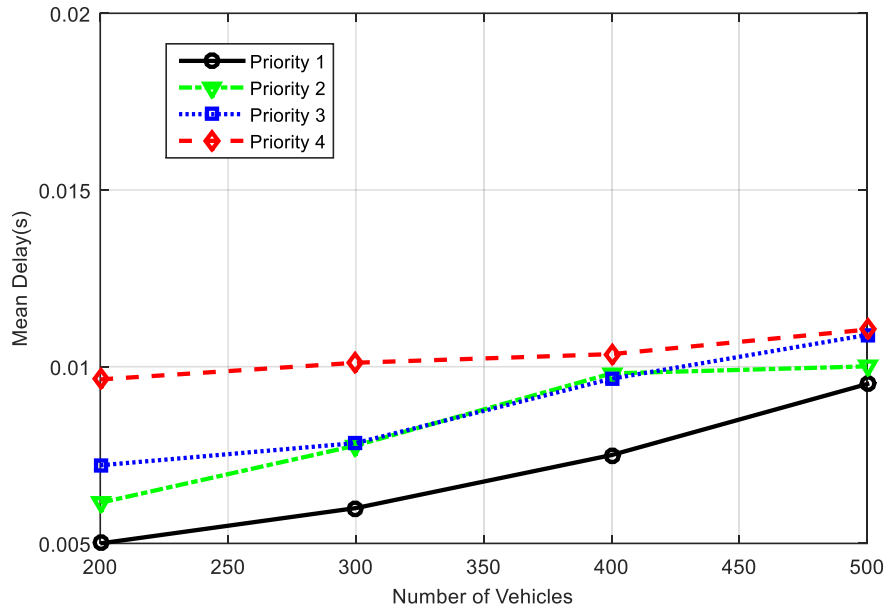
بررسی نرخ تحویل موفق بسته در همین سناریو نشان داد با افزایش تعداد خودروها، احتمال اتلاف بسته به دلیل افزایش میانگین فاصله‌ی مسیرهای انتقال و نیز افزایش تعداد گام‌های ارتباطی بیش‌تر می‌شود. باین‌حال، الگوریتم پیشنهادی به‌دلیل مسیریابی محتوامحور و تنظیم تطبیقی توان ارسال توانسته است، در مقایسه با روش‌های مقایسه‌ای، نرخ تحویل بسته‌ی بیش‌تری را حفظ کند. این نتیجه نشان می‌دهد روش پیشنهادی مقیاس‌پذیری مناسبی در شبکه‌های پرتراکم دارد. نمودار مربوط به این تحلیل در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۴. نمودار نرخ تحویل بسته به‌ازای تعداد مختلف گره‌های شبکه

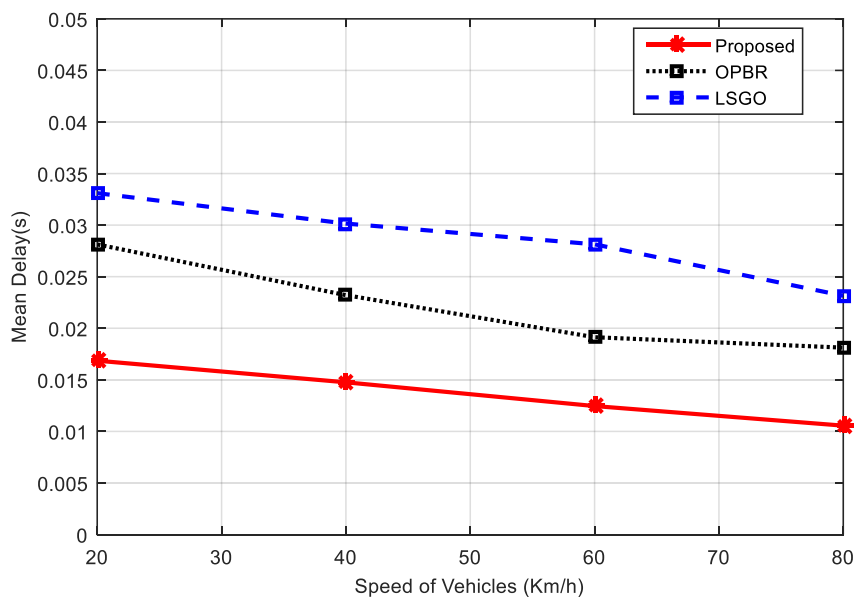
یکی از مهم‌ترین اهداف پژوهش حاضر، بهبود انتقال داده‌های بحرانی در محیط‌های شهری هوشمند بوده است. بدین منظور عملکرد الگوریتم پیشنهادی بر اساس سطح اولویت داده‌ها بررسی شد. نتایج نشان داد داده‌های اورژانسی و با اولویت بالا، در مقایسه با سایر انواع داده، با تأخیر کم‌تری منتقل می‌شوند. این رفتار نتیجه‌ی استفاده از ساختار صف‌های اولویت و ایجاد توپولوژی‌های ارتباطی مجزا برای انواع مختلف محتواست که امکان تخصیص منابع شبکه به جریان‌های حیاتی را فراهم می‌کند. همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، اختلاف محسوس تأخیر میان سطوح مختلف اولویت نشان می‌دهد سازوکار زمان‌بندی مبتنی بر محتوا در کاهش زمان واکنش شبکه اثرگذار بوده است.





شکل ۵. نمودار تأخیر انتهابه‌انتها به تفکیک اولویت داده و به‌ازای تعداد مختلف گره‌های شبکه

در ادامه، تأثیر تغییر سرعت حرکت خودروها بر عملکرد شبکه بررسی شد. افزایش سرعت گره‌ها موجب تغییرات سریع‌تر توپولوژی و کاهش پایداری پیوندهای ارتباطی می‌شود؛ با این حال، نتایج نشان داد الگوریتم پیشنهادی توانسته است در شرایطی که تحرک زیاد است نیز عملکرد پایدار خود را حفظ کند. کاهش اندازه‌ی خوشه‌های ارتباطی در سرعت‌های بیش‌تر و بازسازی پویای مسیرهای انتقال موجب کاهش تأخیر انتهابه‌انتها شده است. روند تغییرات تأخیر در سرعت‌های مختلف حرکت خودروها در شکل ۶ نمایش داده شده است که نشان می‌دهد روش پیشنهادی، در مقایسه با روش‌های مرجع، حساسیت کم‌تری به تحرک شبکه دارد.



شکل ۶. نمودار تأخیر انتهابه‌انتها به‌ازای سرعت مختلف گره‌های شبکه



مجموع نتایج به دست آمده از سناریوهای مختلف نشان می‌دهد ترکیب بهینه‌سازی پارامترهای لایه‌ی MAC با زمان‌بندی محتوای محور، امکان مدیریت هم‌زمان بار ترافیکی شبکه و بهبود شاخص‌های کیفیت سرویس را فراهم کرده است. عملکرد پایدار الگوریتم در شرایط افزایش تعداد خودروها، تغییر سرعت حرکت و وجود جریان‌های داده‌ای ناهمگن بیانگر قابلیت کاربرد روش پیشنهادی در سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند و زیرساخت‌های شهر هوشمند مبتنی بر VANET است.

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد طراحی یک الگوریتم زمان‌بندی هوشمند مبتنی بر اولویت داده که با شرایط پویای شبکه‌های موردی بین‌خودرویی سازگار باشد، می‌تواند نقشی مؤثر در بهبود هم‌زمان شاخص‌های کیفیت سرویس و مدیریت ازدحام ترافیکی شهری ایفا کند. نتایج شبیه‌سازی بیانگر آن بود که با افزایش تعداد خودروها، به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تراکم شهری، میزان تأخیر انتها به انتها در تمامی روش‌ها روند افزایشی دارد؛ موضوعی که در مطالعات پیشین نیز به عنوان یکی از چالش‌های ذاتی شبکه‌های VANET مطرح شده است. پژوهش‌های انجام شده در حوزه پروتکل‌های مسیریابی آگاه از کیفیت سرویس نشان می‌دهند افزایش چگالی گره‌ها به افزایش رقابت برای دسترسی به کانال، برخورد بسته‌ها و کاهش کارایی شبکه منجر می‌شود (Belamri et al., 2021). با این حال، نتایج این پژوهش نشان داد الگوریتم پیشنهادی توانسته است در وضعیت افزایش بار شبکه، میزان افزایش تأخیر را کنترل کند و عملکردی پایدارتر از روش‌های مرجع ارائه دهد که این امر نشان‌دهنده‌ی اثربخشی سیاست زمان‌بندی تطبیقی در مدیریت منابع ارتباطی است.

در مقایسه با پژوهش‌هایی که تمرکز اصلی آن‌ها بر طراحی ساختارهای خوشه‌بندی و انتخاب سرخوشه در شبکه‌های خودرویی بوده است، مشخص شد که اگرچه خوشه‌بندی می‌تواند سربار مسیریابی را کاهش دهد، اما در محیط‌های پرتراکم شهری به تنهایی قادر به تضمین کیفیت سرویس نیست، زیرا تغییرات سریع تحرک خودروها موجب ناپایداری ساختار خوشه‌ها می‌شود (Al-Obaidi et al., 2025؛ فاطمی دخت و رفسنجانی، ۲۰۲۰). در پژوهش حاضر، خوشه‌بندی شبکه با سازوکار زمان‌بندی محتوای محور ترکیب شده است، به گونه‌ای که علاوه بر سازمان‌دهی گره‌ها، نحوه‌ی تخصیص منابع ارتباطی نیز بر اساس اهمیت پیام تنظیم می‌شود. این یکپارچگی سبب شده است پیام‌های حیاتی حتی در وضعیت‌های پرتراکم با تأخیر کم‌تری منتقل شوند و نرخ تحویل بسته در سطح قابل قبولی باقی بماند؛ بنابراین، نتایج نشان می‌دهند مدیریت هم‌زمان توپولوژی و زمان‌بندی، در مقایسه با رویکردهای مبتنی بر مسیریابی صرف، کارایی بیشتری در محیط‌های شهری دارد.

از منظر کنترل ازدحام شبکه، مطالعات پیشین بیان می‌کنند که افزایش بار ارتباطی می‌تواند به افت هم‌زمان عملکرد شبکه و کاهش کارایی سامانه‌های مدیریت ترافیک منجر شود، زیرا تأخیر در انتشار پیام‌های هشداردهنده باعث واکنش دیر هنگام سیستم‌های کنترلی می‌شود (Tadesse et al., 2024؛ Giripunje et al., 2022). نتایج این پژوهش نشان داد استفاده از زمان‌بندی اولویت‌محور و تخصیص پویای بازه‌های ارسال، موجب کاهش رقابت غیرضروری میان پیام‌ها و جلوگیری از اشباع کانال ارتباطی می‌شود. در واقع، بهبود مشاهده شده در شاخص‌های QoS تنها نتیجه‌ی کاهش حجم داده نبوده، بلکه حاصل تخصیص هدفمند منابع شبکه به جریان‌های اطلاعاتی حساس به زمان است؛



موضوعی که نقشی مهم در افزایش سرعت تصمیم‌گیری ترافیکی دارد.

بررسی عملکرد الگوریتم در وضعیت تغییر سرعت خودروها نیز نشان داد که روش پیشنهادی حساسیت کمتری به تغییرات تحرک شبکه دارد. در بسیاری از مطالعات، گزارش شده است که افزایش سرعت گره‌ها موجب افزایش شکست پیوند و افت کیفیت سرویس می‌شود، زیرا مسیرهای ارتباطی به سرعت ناپایدار می‌شوند (Tripp Barba, 2013). با این حال، در این پژوهش پیش‌بینی موقعیت نسبی گره‌ها و بازسازی پویای توپولوژی شبکه باعث حفظ پایداری ارتباطات در سرعت‌های بیش‌تر شده است. این نتیجه نشان می‌دهد سازگاری الگوریتم با وضعیت پویایی شبکه می‌تواند یکی از عوامل کلیدی در کاربرد عملی VANET در محیط‌های واقعی شهری باشد.

در حوزه‌ی کاربردهای سرویس‌محور، مطالعات مرتبط با انتقال داده‌های چندرسانه‌ای در VANET تأکید دارند که نوسان تأخیر و اتلاف بسته مهم‌ترین عامل کاهش کیفیت خدمات است (Sarvade & Kulkarni, 2023; Alaya et al., 2021). نتایج این مطالعه نشان داد تفکیک جریان‌های داده بر اساس سطح اولویت و استفاده از ساختار صف‌بندی چندسطحی موجب کاهش چشم‌گیر تأخیر پیام‌های اضطراری شده است. این یافته بیانگر آن است که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند نیازهای ناهمگن سرویس‌های مختلف را مدیریت کند و کیفیت سرویس تفکیکی ارائه دهد؛ قابلیت‌هایی که در بسیاری از روش‌های مبتنی بر مسیریابی سنتی مشاهده نمی‌شود.

از سوی دیگر، پژوهش‌های امنیتی نشان داده‌اند که وجود داده‌های مخرب یا گزارش‌های نادرست می‌تواند موجب اختلال در تصمیم‌گیری‌های ترافیکی و کاهش عملکرد شبکه شود (Wheeder et al., 2024; Hamdi et al., 2021). هرچند تمرکز اصلی پژوهش حاضر بر امنیت نبوده است، نتایج نشان داد سازوکار زمان‌بندی اولویت‌محور با جلوگیری از اشباع شبکه به وسیله‌ی پیام‌های کم‌اهمیت، پایداری انتقال داده‌های حیاتی را افزایش می‌دهد و می‌تواند به صورت لایه‌ای مکمل در افزایش تاب‌آوری شبکه در برابر اختلالات ارتباطی عمل کند.

در مقایسه با پژوهش‌های داخلی، مطالعاتی مانند بلوچ‌زهی و همکاران (۱۴۰۲) به بهبود کیفیت خدمات از طریق افزایش زیرساخت‌های ارتباطی پرداخته‌اند، درحالی‌که نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد بدون توسعه‌ی سخت‌افزاری گسترده و صرفاً از طریق مدیریت هوشمند زمان‌بندی پیام‌ها نیز می‌توان عملکرد شبکه را بهبود بخشید. همچنین پژوهش‌های مرتبط با طراحی الگوریتم‌های مسیریابی در شبکه‌های بین‌خودرویی (سعیدی و بابائی، ۱۴۰۱؛ سادات‌پور و همکاران، ۱۴۰۲) بیش‌تر بر انتخاب مسیر انتقال داده تمرکز داشته‌اند، درحالی‌که در این پژوهش زمان‌بندی انتقال داده به عنوان حلقه‌ی اتصال میان عملکرد ارتباطی شبکه و مدیریت ترافیک شهری مد نظر قرار گرفته است.

در مجموع، نتایج نشان می‌دهند ترکیب زمان‌بندی هوشمند، سازمان‌دهی محتوا محور شبکه و تنظیم تطبیقی پارامترهای ارتباطی می‌تواند به طور هم‌زمان موجب کاهش تأخیر ارتباطی، افزایش نرخ تحویل بسته و بهبود کارایی مدیریت ترافیک شهری شود. این موضوع بیانگر آن است که رویکردهای مبتنی بر زمان‌بندی آگاه از وضعیت ترافیکی می‌توانند نقشی مهم در توسعه‌ی سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند و تحقق زیرساخت‌های شهر هوشمند ایفا کنند.

با توجه به نتایج، پیشنهاد می‌شود در کاربردهای عملی شهری، الگوریتم زمان‌بندی پیشنهادی در قالب طرح‌های پایلوت در معابر پرتردد و تقاطع‌های بحرانی به اجرا درآید تا امکان ارزیابی عملکرد آن در شرایط واقعی فراهم شود. همچنین ادغام این الگوریتم با زیرساخت‌های کنار



جاده‌ای و سامانه‌های کنترل هوشمند چراغ‌های راهنمایی می‌تواند موجب بهبود هماهنگی میان تصمیم‌های ارتباطی و کنترل جریان ترافیک شود. بهره‌گیری از طبقه‌بندی استاندارد پیام‌های شهری و تعریف سطوح مشخص اولویت برای داده‌های ایمنی، مدیریتی و خدماتی نیز می‌تواند اثربخشی زمان‌بندی را در مقیاس شهری افزایش دهد. علاوه بر این، ترکیب الگوریتم پیشنهادی با روش‌های یادگیری ماشین به منظور تشخیص داده‌های غیرعادی و پالایش پیام‌های مخرب می‌تواند پایداری شبکه را در موقعیت‌های واقعی افزایش دهد. توسعه‌ی نسخه‌های آینده‌ی الگوریتم با در نظر گرفتن ناهمگنی تجهیزات ارتباطی، خودروهای خودران و محیط‌های ترافیکی پیچیده نیز می‌تواند مسیر کاربرد عملی گسترده‌تر این رویکرد را در سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند آینده فراهم آورد.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچگونه تضاد منافی وجود ندارد.

تشکر و قدردانی

محققان بر خود لازم می‌دانند از تمامی افرادی که با پژوهشگران همکاری صمیمانه‌ای داشتند، تشکر نمایند. این مقاله برگرفته از رساله دانشجویی مقطع دکتری می‌باشد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

موازین اخلاقی

این پژوهش با رعایت تمامی اصول اخلاق در پژوهش‌های انسانی انجام شده است.

شفافیت داده‌ها

داده‌ها و مآخذ پژوهش حاضر در صورت درخواست از نویسنده مسئول و ضمن رعایت اصول کپی رایت ارسال خواهد شد.

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

Reference

- Al-Obaidi, A. S., Mohammed, G. J., & Alzubaidi, W. K. (2025). Optimizing VANET clustering algorithms for 3D urban environments: Impact of traffic congestion and driver behavior on network performance. <https://doi.org/10.54216/JCIM.170207>
- Alaya, B., Khan, R., Moulahi, T., & El Khediri, S. (2021). Study on QoS management for video streaming in vehicular ad hoc network (VANET). <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08118-7>
- Alfarizi, N. F., Nuruzzaman, M. T., Uyun, S., Sugiantoro, B., & Abdullah, M. F. A. (2025). Performance evaluation of vehicular ad hoc networks considering malicious node impact on quality of services metrics. <https://doi.org/10.15575/join.v10i2.1568>



- Baluchzai, N., Bidar, M., & Kashfi, R. (2023). Improving the quality of service of vehicular networks by simultaneous use of roadside units and parked vehicles in urban environments. *Signal and Data Processing*, 56, 21–38. [In Persian]. <https://jsdp.rcisp.ac.ir/article-1-1249-fa.html>
- Belamri, F., Boulfekhar, S., & Aissani, D. (2021). A survey on QoS routing protocols in vehicular ad hoc network (VANET). <https://doi.org/10.1007/s11235-021-00797-8>
- Chango, W., Logroño, S., Játiva, M., & Aguilar, P. (2024). Vehicular ad-hoc network (VANET). In *Book Chapter*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51982-6_15
- Dasthahanin, B., Mousavi, M., & Faramarzi-Asli, M. (2024). Analysis of physical changes in Tabriz city with emphasis on sustainable development during the years 2000–2020. *Economics and Urban Planning*, 20, 174–185. [In Persian]. <https://civilica.com/doc/2277877>
- Ding, N., Nie, S.-H., Xu, L., & Tan, G. (2017). Data related task scheduling for vehicular ad hoc networks. <https://doi.org/10.11897/SP.J.1016.2017.01614>
- Drahman, I. N., Yogarayan, S., Abdul Razak, S. F., Sayeed, M. S., & Abdullah, M. F. A. (2026). Assessing the impact of ghost car attacks on traffic flow in vehicular ad hoc networks. <https://doi.org/10.28991/ESJ-2026-010-01-024>
- Fatemidokht, H., & Rafsanjani, M. K. (2020). QMM-VANET: An efficient clustering algorithm based on QoS and monitoring of malicious vehicles in vehicular ad hoc networks. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.110561>
- Giripunje, L. M., Vidyarthi, A., & Shandilya, S. K. (2022). Routing and congestion in vehicular ad-hoc networks (VANET's): Characteristics, challenges and solutions. In *Book Chapter*. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2631-0_29
- Gomathy, K., & Nagarani, C. (2025). A comprehensive survey on intelligent cluster head selection and QoS-aware routing techniques in vehicular ad hoc networks (VANETS). <https://doi.org/10.26634/jit.14.3.22492>
- Hamdi, M. M., Yussen, Y. A., & Mustafa, A. S. (2021). Integrity and authentications for service security in vehicular ad hoc networks (VANETs): A review. <https://doi.org/10.1109/HORA52670.2021.9461327>
- Hussin, A. H. b. A., Shuhaimi, N. I., Mohamad, R., & Abdullah, E. (2024). Time slot evaluation based on DCF mechanism under urban traffic scenario in vehicular network. <https://doi.org/10.1109/ISCI62787.2024.10667856>
- Khan, K. (2025). *Lecture notes on vehicular ad hoc networks (VANETs)* [Research/lecture notes].
- Khan, S. U. R., Khan, M. A., Zia, T., & Zheng, L. (2013). Vehicular ad-hoc networks (VANETs)—an overview and challenges. <https://doi.org/10.5923/j.jwnc.20130303.02>
- Lakshmi, R., Alekhya, S., & Rampalli, L. S. A. (2022). *Cross-layer design in mobile (vehicular) ad hoc networks: Issues and possible solutions*.
- Magar, H., Ubale, A. S., Rajule, N., Gupta, R. R., & Philip, V. (2025). Case studies and real-world deployment examples of VANETs (vehicular ad-hoc networks). In *Book Chapter*. https://doi.org/10.1007/978-981-96-5190-0_13
- Ravi, B., Kumar, M., Hu, Y.-C., Hassan, S., & Kumar, B. (2023). Stochastic modeling and performance analysis in balancing load and traffic for vehicular ad hoc networks: A review. <https://doi.org/10.1002/nem.2224>
- Sadatpour, V., Darsatkar-Yaghoti, B., Pakar, A., & Jamei, S. (2023). Improving packet routing in ad hoc vehicle networks for traffic management in smart police. *Traffic Management Studies*, 68, 161–194. [In Persian]. <https://civilica.com/doc/1900804>
- Saeedi, N., & Babaei, Sh. (2022). Presenting a new routing algorithm based on genetic algorithms and simulated annealing for inter-vehicle ad hoc networks. *Signal and Data Processing*, 52, 61–71. [In Persian]. http://jsdp.rcisp.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-2025-1&slc
- Sarvade, V. P., & Kulkarni, S. A. (2023). Real-world multimedia streaming for software defined vehicular ad hoc networks. <https://doi.org/10.5121/ijcnc.2023.15402>
- Shidai, F., & Heydari, S. (2021). Presenting a location-based and data-based model in the management and development of e-cities in the country: A case study of Tabriz city. *Geography and Planning*, 78, 243–264. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/GP.2021.44443.2775>
- Shiroviyehpour, Sh., Mortazavi, S., & Bayat, R. (2023). Presenting a model of factors affecting the future development of sustainable smart cities with an emphasis on optimal energy management. *Economics and Urban Planning*, 16, 118–130. [In Persian]. <https://sid.ir/paper/1151995/fa>
- Siddhartha, B. S. (2020). *Routing protocol using fuzzy logic for vehicular ad-hoc networks* [Research].
- Subramaniam, P. R. (2017). An adaptive fuzzy-based service-oriented approach with QoS support for vehicular ad hoc networks. In *Book Chapter*. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-1008-6.ch007>
- Tadesse, E. M., Geto, A. D., Demliw, S. A., Zinabie, A., & Endris, N. (2024). Load-aware and priority adaptive traffic congestion control method in vehicular ad hoc network. <https://doi.org/10.11648/j.wcmc.20241102.13>
- Tripp Barba, C. (2013). *Contribution to design a communication framework for vehicular ad hoc networks in urban scenarios* [Thesis].
- Wheeder, J., Ponnusamy, S., Muqem, M., & Bhaladhare, P. R. (2024). A careful examination of the security and traffic effects associated with the vehicle ad-hoc network (VANET). <https://doi.org/10.38124/ijisrt/IJISRT24JUN210>
- Zhang, S., & Su, B. (2025). Adaptive machine learning-driven MFP algorithm for trajectory anomaly detection in vehicular ad-hoc networks. <https://doi.org/10.1002/ett.70261>



Presenting a Scheduling Algorithm to Intelligently Reduce Urban Traffic to Improve Quality of Service (Qos) in Vehicular Ad Hoc Networks (Vanets)

Extended Abstract

Introduction

Rapid urbanization, increasing car ownership rates, and increasingly complex commuting patterns have made urban traffic management one of the main bottlenecks for the efficiency and resilience of smart cities. In dense cities, small incidents such as sudden braking, short lane changes, or traffic light disruptions can lead to waves of congestion and stop-and-go chains, resulting in increased travel times, energy consumption, emissions, and the likelihood of accidents. Implementation experiences and real-world examples of VANET deployments show that relying on real-time data and vehicle communications can significantly improve the accuracy of traffic situation detection and the response speed of traffic management systems. Summarizing the theoretical foundations and research background, the main challenge in urban VANETs is the need to simultaneously reduce physical congestion on roads and ensure the quality of communication service for heterogeneous messages. By presenting an intelligent scheduling algorithm, the present research attempts to reduce network congestion and communication delay by dynamically prioritizing messages, controlling channel load, and adapting to congestion conditions. On the one hand, it also helps reduce urban congestion and improve QoS in inter-vehicle networks by supporting traffic decision-making.

Methodology

The methodology of the present study is designed to design and evaluate an intelligent scheduling algorithm in inter-vehicle ad hoc networks to reduce urban traffic congestion and improve service quality. This study is considered applied research in terms of its purpose and developmental in nature, because its main focus is on providing a new algorithmic solution and evaluating its efficiency in dynamic communication environments. The research approach is quantitative and the study process is based on system modeling, algorithm design, simulation, and performance analysis. The overall framework of the study is based on simulating the inter-vehicle communication network in an urban environment and examining the behavior of the proposed algorithm under different traffic and communication conditions. In this study, the inter-vehicle ad hoc network was modeled as a dynamic communication environment in which each vehicle is considered as a mobile node with the ability to send, receive, and process data. The communication between nodes is formed based on the structure of direct vehicle-to-vehicle and vehicle-to-infrastructure communication, and the network is assumed to have no central controller. Due to the mobile nature of nodes, rapid changes in network topology, instability of communication links, and limited wireless channel resources were considered in the design of the system model to represent real urban traffic conditions. Parameters such as vehicle speed, distance between nodes, traffic density, radio communication range, and vehicle mobility pattern were defined as variables affecting network performance.

Results

The results showed that the proposed method reduces the end-to-end delay in high-density conditions and improves the successful packet delivery rate compared to the reference methods. Also, the priority disaggregation analysis showed that emergency messages are transmitted with less delay and higher stability, which is critical for safety and traffic control applications. The results showed that the multi-level queuing mechanism reduces the contention of low-priority messages and allows the allocation of channel resources to time-sensitive flows efficiently. In summary, the combination of priority-based scheduling, content-based topology reconstruction, and adaptive MAC tuning provides an efficient framework for improving



QoS and reducing congestion effects in urban inter-vehicle networks.

Discussion and Conclusion

The findings of the present study showed that designing an intelligent scheduling algorithm based on data priority and compatible with the dynamic conditions of inter-vehicle ad hoc networks can play an effective role in simultaneously improving quality of service indicators and urban traffic congestion management. The simulation results indicated that with the increase in the number of vehicles, as one of the most important indicators of urban congestion, the end-to-end delay in all methods increases; an issue that has also been raised in previous studies as one of the inherent challenges of VANET networks. Research conducted in the field of quality of service-aware routing protocols shows that increasing node density leads to increased competition for channel access, packet collisions, and reduced network efficiency (Blamery et al., 2021). However, the results of this study showed that the proposed algorithm was able to control the delay growth rate under conditions of increasing network load and provide more stable performance than reference methods, which indicates the effectiveness of the adaptive scheduling policy in managing communication resources. Using the standard classification of urban messages and defining specific priority levels for safety, management, and service data can also increase the effectiveness of scheduling on an urban scale. In addition, combining the proposed algorithm with machine learning methods to detect abnormal data and filter malicious messages can increase network stability in real-world conditions. The development of future versions of the algorithm by considering the heterogeneity of communication equipment, autonomous vehicles, and complex traffic environments can also pave the way for a wider practical application of this approach in future intelligent transportation systems.

Keywords: Vehicular Ad Hoc Networks (Vanets), Content-Based Scheduling, Quality of Service (Qos), Congestion Control, Dynamic Clustering

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this study.

Acknowledgment

The authors would like to express their sincere gratitude to all individuals who assisted the research team and provided valuable feedback on the manuscript of this article. This study is derived from a doctoral dissertation.

Author Contributions

All authors contributed equally to the preparation of this manuscript.

Ethical Considerations

This study was conducted in accordance with all ethical principles for human research.

Data Transparency

The data and references supporting the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request, provided that copyright and privacy policies are respected.

Funding

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

