Industrial Management Perspective

Print ISSN: 2251-9874, Online ISSN: 2645-4165
Volume 13, Serial Number 49, Spring 2023, Pages 41-77 (Original Article)
DOI: 10.52547/JIMP.13.1.41

Reliable and Flexible Multi-Criteria Clustering Model for Internet of Vehicles

Yaser Taj[*], Bahador Bakhshi Sareskanrood[**], Hesam ZandHessami[***]

Abstract

The Internet of Vehicles is a new framework for intelligent transportation systems. One of its goals is to improve safety and increase the quality of road travels. Topology changes in IoV present significant challenges to the safety programs. Due to the variety of traffic conditions, the reliability of current clustering methods faces many risks. In this research, a multi-criteria clustering model called RFCV has been proposed with the aim of increasing the reliability of the Internet of Vehicles. This model is independent of infrastructure and introduces four new criteria: "history of vehicle movement," "conformity of vehicle speed with the harmonic average of nearby vehicles' speeds," "number of reliable neighbors," and "performance quality in previous clusters." The weight of moving vehicles is considered, and the one with the best weight is selected as the cluster head, while an alternative cluster head is also determined to improve cluster stability. The stability of the cluster ensures that message exchange is possible in the closest time to real-time. The efficiency of the proposed clustering model has been theoretically proven, and simulations with multiple scenarios in SUMO and NS3 environments demonstrate the superiority of RFCV in increasing "route lifetime and packet delivery rate (PDR)" and decreasing "average delay and control overhead" in both densely populated urban and less-populated highway environments.

Keywords: Clustering; Stable Clustering; Routing; Reliability; Internet of Vehicles.

Received: Feb. 20, 2022; Accepted: Nov. 22, 2022.

* Ph.D Student, Department of Information Technology Management, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
** Assistant Professor, Department of Architecture and Computer Networks, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran (Corresponding Author).
Email: bbakhshi@aut.ac.ir
*** Assistant Professor, Department of Industrial Management, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵
سال سیزدهم، شماره ۴۹، بهار ۱۴۰۲، ص‌ص ۴۱ – ۷۷ (**نوع مقاله: پژوهشی**)
DOI: 10.52547/JIMP.13.1.41

مدل خوشه‌بندی چندمعیاره قابل‌اطمینان و انعطاف‌پذیر برای اینترنت وسایل نقلیه

یاسر تاج*، بهادر بخشی سراسکانرود، حسام زند حسامی*****

چکیده

اینترنت وسایل‌نقلیه، چارچوب جدیدی برای سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند است که یکی از اهداف آن بهبود ایمنی و افزایش کیفیت سفرهای جاده‌ای است. تغییرات توپولوژی در اینترنت وسایل‌نقلیه، کارکرد برنامه‌های ایمنی را با چالش‌های اساسی روبه‌رو می‌کند. به علت تنوع شرایط ترافیکی، قابلیت اطمینان روش‌های خوشه‌بندی فعلی با ریسک‌های زیادی مواجه می‌شود. در این پژوهش با هدف افزایش قابلیت اطمینان در اینترنت وسایل‌نقلیه، یک مدل خوشه‌بندی چندمعیاره و بدون وابستگی به زیرساخت به نام RFCV پیشنهاد شده است و با معرفی چهار معیار جدید با عنوان «سابقه تحرک خودرو»، «تطابق سرعت خودرو با میانگین هارمونیک سرعت خودروهای نزدیک»، «تعداد همسایگان مطمئن خودرو» و «کیفیت عملکرد در خوشه‌های قبلی»، خودروهای در حال حرکت وزن‌دهی می‌شوند و یکی از آن‌ها با بهترین وزن به‌عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود و یک سرخوشه جایگزین نیز برای بهبود پایداری خوشه تعیین می‌شود. پایداری خوشه باعث می‌شود تبادل پیام در نزدیک‌ترین زمان نسبت به زمان واقعی میسر شود. کارایی طرح پیشنهادی از نظر تئوری اثبات شده است و شبیه‌سازی با سناریوهای متعدد در محیط SUMO و NS3، نمایانگر برتری روش RFCV در افزایش «طول عمر مسیر و نرخ تحویل بسته‌ها» و کاهش «میانگین تأخیر و سربار کنترلی» در محیط‌های متراکم شهری و کم‌تراکم بزرگراهی است.

کلیدواژه‌ها: خوشه‌بندی؛ خوشه‌بندی پایدار؛ مسیریابی؛ قابلیت اطمینان؛ اینترنت وسایل‌نقلیه.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۰۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۰۱.

* دانشجوی دکتری مدیریت فناوری اطلاعات، گروه مدیریت فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

** استادیار گروه آموزشی معماری و شبکه های کامپیوتری، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران (نویسندهٔ مسئول).

Email: bbakhshi@aut.ac.ir

*** استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۱. مقدمه

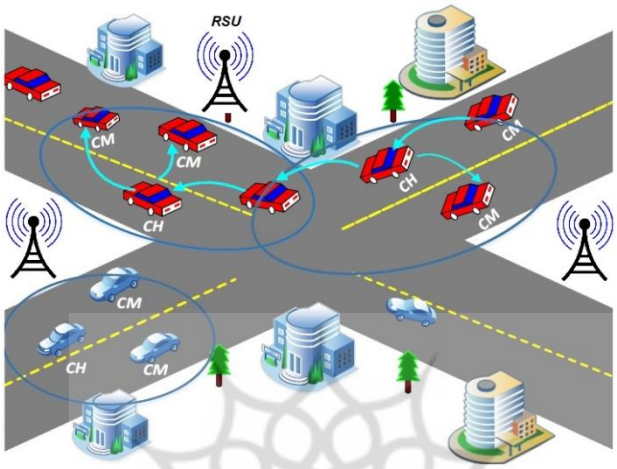
اینترنت وسایل نقلیه[1] (IoV) که تلفیق فناورانه شبکه وسایل نقلیه[2] و اینترنت اشیا تلقی می‌شود، به‌عنوان یک موضوع مهم پژوهشی و تجاری، برای توسعه برنامه‌های مدیریت ترافیک و ایمنی جاده‌ها در جهت بهبود سیستم حمل‌ونقل هوشمند استفاده می‌شود. فراهم‌آوردن امکان مدیریت ترافیک در زمان واقعی[3] و تضمین به‌موقع‌بودن اطلاعات اضطراری برای رفع مشکلات ترافیکی بسیار قابل‌توجه است [۳۷]. در IoV برای ارتباط بین وسایل نقلیه و واحدهای کنار جاده[4] از فناوری شبکه ارتباطی استفاده می‌شود. ارتباطات وسیله نقلیه به وسیله نقلیه[5]، به وسایل نقلیه اجازه می‌دهد پیام‌های اطلاعاتی را به‌صورت بلادرنگ بین خودشان به‌اشتراک بگذارند. با استفاده از این روش، وسایل نقلیه می‌توانند وضعیت ترافیکی را با استفاده از ارتباطات گام‌به‌گام به نزدیک‌ترین RSU ارسال کنند. وسایل نقلیه با استفاده از پیام‌های دوره‌ای، اطلاعات ترافیکی را مبادله کرده و بهترین خودروی همسایه را برای ارسال بسته‌های اطلاعاتی انتخاب می‌کنند. در ارتباطات وسیله نقلیه به زیرساخت[6]، با استفاده از تبادل اطلاعات بین وسایل نقلیه و RSU، شرایط ترافیکی، وضعیت آب‌وهوا و همچنین خدمات اینترنتی به وسایل نقلیه ارائه می‌شود [۷].

اگرچه برای مدیریت ترافیک در IoV، استفاده از ارتباطات V2V و V2I امکان‌پذیر است، ولی امکانات ارتباطی یادشده تحت محدودیت‌های زمانی و مکانی قرار دارند [۹]. توزیع ناهمگن وسایل نقلیه و تفاوت سرعت و جهت حرکت آن‌ها، IoV را در معرض اختلال ارتباطی قرار می‌دهد؛ درضمن مشکلاتی نظیر ازدحام ناشی از افزایش سریع تعداد وسایل نقلیه، نیاز به ارائه راهکارهایی دارد که از حوادث رانندگی و خطرهای آن جلوگیری کند [۳۹]. وسایل نقلیه می‌توانند اطلاعات ترافیکی ازجمله سرعت خودرو، هشدار ایمنی، گزارش تصادف، جریان ترافیک و غیره را جمع‌آوری کنند. انتقال داده‌های یادشده در زمان واقعی به یکی از موضوع‌های مهم در IoV تبدیل شده است [۳۶]. سرویس‌های مبتنی بر IoV باید با ویژگی‌های محیط شهری و جاده‌ای مانند موانع زیرساختی، چراغ‌های راهنمایی، ساختمان‌ها یا اتصالات جاده‌ای سازگار باشند تا کیفیت سرویس در سطح مطلوب باقی بماند [۸].

با توجه به خصوصیات بیان‌شده، مسیریابی موفق بسته‌های اطلاعاتی در IoV باید با مشکلات تغییرات مداوم توپولوژی[7] و همچنین مقیاس‌پذیری[8] مقابله کند و هم‌زمان کیفیت سرویس نیز در حد مطلوب باقی بماند [۳۸]. به همین علت اغلب پژوهش‌های حوزه مسیریابی از

1. Internet of Vehicles (IoV)
2. VANET
3. Realtime
4. Road side unit (RSU)
5. Vehicle to Vehicle (V2V)
6. Vehicle to Infrastructure (V2I)
7. Topology
8. Scalability

خوشه‌بندی[1] به‌عنوان یک راهکار بهینه برای رویارویی با چالش‌های بیان‌شده استفاده کرده‌اند. با خوشه‌بندی و مدیریت تبادل بسته‌های اطلاعاتی توسط خودروی سرخوشه[2]، میزان تبادل بسته‌ها بین وسایل نقلیه و RSU به‌طور مؤثری کاهش می‌یابد. خوشه‌بندی فرآیندی است که به‌واسطه‌ی آن، گروهی از خودروها بر اساس معیارهایی مانند سرعت، مکان جغرافیایی و غیره، یک شبکه فرعی را در جاده تشکیل می‌دهند [۲۰]. معماری ارتباطی مبتنی بر خوشه در شکل ۱، نشان داده شده است.



شکل ۱. مدل حرکت خودروها در مسیر و امکان خوشه‌بندی و تعامل خوشه‌ها با RSU

در این روش برای هر گروه، یک CH انتخاب می‌شود و سایر اعضا نیز به‌عنوان عضو خوشه[3] شناخته می‌شوند. CH مسئول هماهنگی و مدیر ارتباطات درون‌خوشه‌ای است. مطابق بررسی‌های انجام‌شده، روش‌های خوشه‌بندی اخیر با چالش‌های زیر روبه‌رو هستند [۱۳]:

– با تغییر شرایط سناریو و میزان تراکم خودروها، خوشه‌های بی‌شماری تولید می‌شود (چالش تعدد خوشه‌ها)؛

– در اغلب روش‌های موجود، سربار کنترلی زیادی تولید می‌شود (چالش سربار کنترلی)؛

– در بسیاری از روش‌های کنونی، تشکیل خوشه‌ها با تأخیر زیادی روبه‌رو می‌شود (چالش تأخیر)؛

– وابستگی به زیرساخت یا سناریوهای خاص، تعمیم‌پذیری روش را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد (چالش تعمیم‌پذیری و وابستگی به زیرساخت هوشمند)

1. Clustering
2. Cluster head (CH)
3. Cluster member (CM)

بنابراین هدف این پژوهش، ارائه مدلی برای خوشه‌بندی شبکه‌های خودرویی است که ضمن استقلال از زیرساخت، بتواند از امکانات دردسترس استفاده کند و در شرایط مختلف جاده‌ای بر چالش‌های تعدد خوشه‌ها، سربار کنترلی، تأخیر و تعمیم‌پذیری فائق شود. با توجه به تفاوت سرعت خودروها و همچنین تفاوت مقصد و تغییر مسیر، تعداد اعضای خوشه دائماً در حال تغییر است و نقش اعضای خوشه (CH، SCH[1] و CM) نیز ممکن است تغییر کند؛ بنابراین برای جلوگیری از تأخیر ارسال و افت کیفیت انتقال باید مدیریت خوشه به‌نحوی کارآمد انجام شود و پایداری خوشه حداکثر باشد. در همین راستا سؤال‌هایی که مطرح است و fhdn در این پژوهش به آن‌ها پاسخ داده شود، به شرح زیر است:

۱. تعداد خوشه‌ها و سربار کنترلی را چگونه می‌توان کاهش داد؟

۲. روش بهینه برای کاهش تأخیر چگونه است؟

۳. برای افزایش تعمیم‌پذیری مدل پیشنهادی از چه راهکارهایی استفاده می‌شود؟

این پژوهش با انگیزه ارائه یک مدل جدید با نام «خوشه‌بندی قابل‌اطمینان در شبکه‌های خودرویی» یا RFCV[2] انجام می‌شود و برای ایجاد خوشه‌های پایدارتراز معیارهای «سابقه حرکتی/ زمانی خودرو»، «میزان تطابق سرعت خودرو با میانگین هارمونیک سرعت خودروهای نزدیک»، «تعداد همسایگان مطمئن خودرو» و «کیفیت عملکرد خودرو در خوشه‌های قبلی» برای انتخاب مناسب‌ترین سرخوشه استفاده می‌کند و با توجه به حرکت دائمی خودروها و فقدان زیرساخت هوشمند در بعضی از جاده‌ها، پیش از به‌خطرافتادن پایداری خوشه، سرخوشه جایگزین[3] فعال می‌کند. استفاده از معیارهای بالا به ایجاد خوشه‌های پایدارتر منجر می‌شود و عدم‌وابستگی به RSU، انعطاف آن را در بخش‌هایی از جاده که شامل زیرساخت‌های هوشمند نباشد، نشان می‌دهد.

شبیه‌سازی گسترده روی مدل پیشنهادی با تعریف سناریوهای قابل‌تعمیم در IoV برای شرایط بزرگراهی و شهری در محیط ابزارهای SUMO و NS3 انجام شد. یادآوری این نکته لازم است که نتایج تحلیل نظری با نتایج شبیه‌سازی مطابقت دارد و نشان‌دهنده برتری RFCV در پارامترهایی نظیر پایداری خوشه، سربار کنترلی، میانگین تأخیر و نرخ تحویل بسته‌ها است.

در ادامه و در بخش دوم، مبانی نظری و پیشینه پژوهش ارائه می‌شود. در بخش سوم روش‌شناسی پژوهش، مفروضات، معیارها و مدل پیشنهادی تشریح خواهد شد. در بخش چهارم، تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش ارائه می‌شود. بخش پنجم نیز به نتیجه‌گیری و پیشنهادها اختصاص دارد.

1. Secondary Cluster Head
2. Reliable Clustering in Vehicular Networks
3. SCH

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

شبکه‌های خودرویی می‌توانند نقشی حیاتی در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند (ITS) داشته باشند. با توجه به شکل ۱، اگر اطلاعات وضعیت تردد خودروها در زمان واقعی، بین وسایل نقلیه و همچنین ستون فقرات شبکه به‌اشتراک گذاشته شود، علاوه بر امکان استفاده از این اطلاعات برای مدیریت بهینه ترافیک، امکان پاسخگویی سریع به حوادث و بحران‌های جاده‌ای نیز فراهم می‌شود. بر همین اساس در پژوهش‌های اخیر، پیشنهادهای متعددی برای کاهش تأخیر انتشار پیام‌ها و افزایش نسبت تحویل بسته‌های اطلاعاتی ارائه شده است [۱۲]. هرچند در بعضی از روش‌ها به سربار پیام‌های تبادلی توجه زیادی نشده است؛ درضمن اغلب روش‌های یادشده برای سناریوهای خاص طراحی شده و در شرایط عمومی ITS تعمیم‌پذیر نیستند.

ژنگ[1] و همکاران (۲۰۱۹)، یک الگوریتم خوشه‌بندی پایدار در مقیاس بزرگ پیشنهاد کردند که در آن CH با محاسبه درجه اتصال با همسایگانش محاسبه می‌شود و برای جمع‌آوری اطلاعات و کنترل متمرکز نیز از قابلیت SDN[2] استفاده می‌کند [۴۰]. خان[3] و همکاران (۲۰۱۹)، یک روش خوشه‌بندی پیشنهاد دادند که در آن قابلیت اطمینان پیوند به‌عنوان معیار اصلی انتخاب CH در نظر گرفته می‌شود و نرخ تحویل بسته را افزایش و تأخیر را کاهش می‌دهد؛ ولی تغییر سرعت خودروهای مسیر به افزایش تعداد خوشه‌ها منجر می‌شود [۲۱]. شاه[4] و همکاران (۲۰۲۰)، یک راهکار مبتنی بر خوشه برای انتقال پیام‌های ایمنی ارائه کردند که توان عملیاتی را افزایش می‌دهد؛ ولی با افزایش اندازه خوشه، کارایی آن کاهش می‌یابد [۳۰]. السوحلی[5] و همکاران (۲۰۱۹)، یک روش خوشه‌بندی مبتنی بر تحرک ارائه کردند و از معیارهای متعددی نظیر سرعت، کیفیت و زمان انقضای پیوند برای انتخاب سرخوشه بهره گرفتند. پایداری خوشه در این روش، مطلوب ارزیابی می‌شود؛ ولی در سناریوهایی که نیازمند ارسال بسته در زمان واقعی هستند، افت کارایی دارد [۳].

توکلی‌مقدم و همکاران (۱۴۰۰)، با بهره‌گیری از پنج معیار، یک مدل مسیریابی به‌منظور پشتیبانی از وسایل نقلیه نظامی ارائه کردند که یک الگوریتم فراابتکاری است و با استفاده از روش‌های GA، PSO و SA به راهکار بهینه دست می‌یابد [۳۴]. اسلامی‌نیا و عظیمی (۱۳۹۸)، یک مدل مسیریابی برای وسایل نقلیه الکتریکی ارائه کردند که با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی در محدوده‌های کوچک، عملکرد بهینه دارد؛ ولی کارایی آن در ابعاد بزرگ‌تر، مطلوب نیست [۱۴]. میرزاپور آل‌هاشم و همکاران (۱۴۰۰)، یک روش مسیریابی ارائه کردند که با استفاده از

1. Zhang
2. Software Define Network
3. Khan
4. Shah
5. Alsuhli

مدل ریاضی و با کمک داده‌های ترافیکی شهر تهران، مسیریابی بهینه را برای آمبولانس‌های بیماران انجام می‌دهد [۲۲].

جدول ۱. مقایسه‌ای از راه‌کارهای اخیر در خوشه‌بندی شبکه‌های خودرویی

روش پیشنهادی	مزایا	معایب	منبع
مسیریابی مبتنی بر خوشه و کلونی مورچه	با کاهش پیام‌های درخواست مسیر، قابلیت اطمینان را بهبود می‌بخشد. این روش برای سناریوهای غیرمتراکم، بهبودهای مؤثری در میزان تأخیر داشته است.	مصرف انرژی در این روش از سایر روش‌ها بیشتر است.	[۱]
خوشه‌بندی مبتنی بر تحرک	پایداری خوشه مطلوب است.	در سناریوهایی که نیازمند ارسال بسته در زمان واقعی هستند، افت کارایی دارد.	[۳]
خوشه‌بندی پایدار	نرخ تحویل بسته‌ها را بهبود داده و در بعضی از سناریوها، در میانگین تأخیر کاهش داشته است.	جامعیت روش باید در سناریوهای متعدد بررسی شود.	[۴]
خوشه‌بندی چندمعیاره	در سناریوهای شهری، نرخ تحویل بسته‌ها را بهبود و سربار کنترلی را کاهش می‌دهد.	نیازمند بررسی کیفی در سناریوهای بزرگراهی است.	[۶]
خوشه‌بندی مبتنی بر پیش‌بینی	در بعضی از سناریوهای شهری، بهبودهایی داشته است.	در محیط‌های پرترافیک، پیش‌بینی اتصال نیازمند پردازش و تأخیر بیشتر خواهد بود.	[۱۰]
خوشه‌بندی با قابلیت تشخیص محدوده‌های پرتراکم	نرخ ازدست‌دادن بسته‌ها در بعضی از سناریوها کمتر شده است.	طول عمر سرخوشه، بهبود زیادی نداشته است.	[۱۱]
مسیریابی مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی	در محدوده‌های کوچک، عملکرد بهینه دارد.	کارایی آن در ابعاد بزرگ‌تر، مطلوب نیست.	[۱۴]
خوشه‌بندی مبتنی بر QoS	برای سناریوهای بزرگراهی کیفیت مناسبی دارد و نسبت تحویل بسته را افزایش و تأخیر را کاهش می‌دهد.	برای سناریوهای شهری دارای کیفیت خوبی نیست.	[۱۶]
خوشه‌بندی مبتنی بر شهرت	قابلیت گروه‌بندی مجدد و تقسیم زیرخوشه را دارد.	در مسیرهای پرترافیک با تعداد وسایل نقلیه زیاد، زمان محاسبه نیز بالا می‌رود و تأخیر افزایش می‌یابد.	[۱۷]
خوشه‌بندی توزیع‌شده	در سناریوهای متوسط و متراکم، دسترسی حداکثری به پیام‌های هشدار را در بین وسایل‌نقلیه فراهم می‌سازد.	در مسیرهای بزرگراهی، ممکن است کارایی آن کاهش یابد.	[۱۸]
خوشه‌بندی مبتنی بر پیش‌بینی	در سناریوهای بزرگراهی، بهبودهایی داشته است.	طول عمر سرخوشه و اعضا در مسیرهای پرترافیک کاهش می‌یابد و برای	[۱۹]

روش پیشنهادی	مزایا	معایب	منبع
		سناریوهای شهری کم‌اثر است.	
خوشه‌بندی مبتنی بر قابلیت اطمینان پیوند	نرخ تحویل بسته را افزایش و تأخیر را کاهش می‌دهد.	تغییر سرعت خودروهای مسیر به افزایش تعداد خوشه‌ها منجر می‌شود.	[۲۱]
مسیریابی مبتنی بر مدل ریاضی و داده‌های ترافیکی	مسیریابی بهینه را برای آمبولانس‌های بیماران انجام می‌دهد.	نیازمند بررسی در سناریوهای مجزا برای مسیریابی شهری و بزرگ‌راهی است.	[۲۲]
مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی	بین میزان مصرف پهنای باند و تأخیر انتقال، تعادل ایجاد می‌کند و برای ترافیک‌های حساس به تأخیر مناسب است.	هزینه پهنای باند مصرفی در این روش قابل‌توجه است.	[۲۴]
مسیریابی مبتنی بر خوشه	مقیاس‌پذیر است و در مسیرهای پرترافیک، کارایی مقبولی دارد.	نرخ تحویل بسته‌ها در سرعت‌های متغیر کاهش می‌یابد.	[۲۵]
خوشه‌بندی مبتنی بر پایداری پیوند	پایداری را در بعضی از سناریوها بهبود داده است.	پایداری خوشه‌ها به شرایط مسیر وابسته است و برای خودروهای خط کم‌سرعت، مطلوب نیست.	[۲۷]
خوشه‌بندی توزیع‌شده	میزان ازدحام ترافیکی را کاهش می‌دهد.	به حافظه محلی برای به‌روزرسانی و پردازش اطلاعات همسایگان نیازمند است.	[۲۸]
خوشه‌بندی چندگام	طول عمر خوشه و همچنین نسبت تحویل بسته‌ها در سناریوهای تعریف‌شده از عملکرد مناسبی برخوردار است.	کیفیت روش باید به تفکیک سناریوهای شهری و بزرگراهی با توجه به تنوع سرعت و تراکم خودروها بررسی شود.	[۲۹]
خوشه‌بندی با هدف انتقال پیام‌های ایمنی	توان عملیاتی را افزایش داده است.	با افزایش اندازه خوشه، کارایی آن کاهش می‌یابد.	[۳۰]
خوشه‌بندی برای کنترل طوفان همه‌پخشی	میزان ازدحام و تأخیر انتقال کاهش یافته و نسبت تحویل بسته‌ها بهبود می‌یابد.	در سرعت‌های کم و یا محیط‌های متراکم عملکرد بهتری دارد ولی با افزایش سرعت و یا در مناطق کم‌ترافیک، عملکرد آن افت می‌کند.	[۳۱]
الگوریتم فراابتکاری	برای جامعیت بهینه‌سازی از معیارهای متعددی استفاده می‌کند.	نیازمند بررسی در سناریوهای مجزا برای مسیریابی شهری و بزرگ‌راهی است.	[۳۴]
خوشه‌بندی مبتنی بر پایداری پیوند	با یک تأخیر قابل‌قبول، نسبت تحویل بسته در سناریوهای شهری را بهبود داده است.	برای سناریوهای بزرگراهی مطلوب نیست.	[۳۵]
خوشه‌بندی پایدار در مقیاس بزرگ	با استفاده از قابلیت SDN، خوشه‌ها به‌صورت متمرکز کنترل می‌شوند.	استفاده از قابلیت متمرکز، علی‌رغم مزیت، ممکن است باعث SPF شود.	[۴۰]

چنگ[1] و همکاران (۲۰۱۹)، یک الگوریتم خوشه‌بندی ارائه کردند که محدوده‌های پرتراکم را تشخیص می‌دهد. در این روش، نرخ ازدست‌دادن بسته‌ها در بعضی از سناریوها کمتر شده ولی طول عمر سرخوشه، بهبود زیادی نداشته است [۱۱]. جوشوا[2] و همکاران (۲۰۱۹)، یک پروتکل خوشه‌بندی مبتنی بر شهرت ارائه کردند که قابلیت گروه‌بندی مجدد و تقسیم زیرخوشه را دارد و بهبودهایی در نرخ تحویل بسته داده است؛ ولی در مسیرهای پرترافیک با تعداد وسایل نقلیه زیاد، زمان محاسبه نیز بالا می‌رود و تأخیر افزایش می‌یابد [۱۷]. کی[3] و همکاران (۲۰۲۰)، یک سازوکار مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی ارائه کردند که با ارائه یک روش بهینه‌سازی، بین میزان مصرف پهنای باند و تأخیر انتقال تعادل ایجاد می‌کند. این روش برای ترافیک‌های حساس به تأخیر مناسب است؛ ولی هزینه پهنای باند مصرفی در آن باید در نظر گرفته شود [۲۴]. شاه[4] و همکاران (۲۰۱۹)، یک تکنیک خوشه‌بندی ارائه کردند که در آن با کنترل مشکل طوفان همه‌پخشی، میزان ازدحام و تأخیر انتقال کاهش یافته و نسبت تحویل بسته‌ها بهبود می‌یابد. این روش در سرعت‌های کم و یا محیط‌های متراکم عملکرد بهتری دارد؛ ولی با افزایش سرعت و یا در مناطق کم‌ترافیک، عملکرد آن افت می‌کند [۳۱].

بائو[5] و همکاران (۲۰۲۰)، از معیارهای موقعیت خودرو، سرعت و تعداد همسایگان به‌منظور ایجاد خوشه‌های پایدار استفاده کردند. این روش می‌تواند نرخ تحویل بسته‌ها را بهبود بخشد و در بعضی از سناریوها، کاهش مناسبی در میانگین تأخیر داشته باشد [۴]. چنگ[6] و همکاران (۲۰۲۰)، با پیش‌بینی کیفیت و زمان اتصال، در بعضی از سناریوهای شهری، بهبودهایی در روش خوشه‌بندی داشته‌اند؛ ولی در محیط‌های پرترافیک، پیش‌بینی اتصال، نیازمند پردازش و تأخیر بیشتر خواهد بود [۱۰]. فاطمی‌دخت و همکاران (۲۰۲۰)، یک روش خوشه‌بندی مبتنی بر QoS پیشنهاد کردند که برای سناریوهای بزرگراهی کیفیت مناسبی دارد و نسبت تحویل بسته را افزایش و تأخیر را کاهش می‌دهد؛ ولی برای سناریوهای شهری دارای کیفیت خوبی نیست [۱۶].

بنکردق[7] و همکاران (۲۰۱۹)، برای انتخاب CH، پارامترهای درجه اتصال، سرعت نسبی و طول عمر پیوند را در نظر گرفتند و در سناریوهای شهری، نرخ تحویل بسته‌ها را بهبود و سربار کنترلی را کاهش دادند [۶]. در پژوهش کاماکشی[8] و همکاران (۲۰۱۹)، با تکیه بر اطلاعات محلی خودروها، خوشه‌ها به‌صورت توزیع‌شده و تدریجی ایجاد شدند. این روش در سناریوهای متوسط و متراکم، دسترسی حداکثری به پیام‌های هشدار را در بین وسایل‌نقلیه فراهم می‌سازد؛

1. Cheng
2. Joshua
3. Qi
4. Shah
5. Bao
6. Cheng
7. Benkerdagh
8. Kamakshi

ولی در مسیرهای بزرگراهی، ممکن است کارایی آن کاهش یابد [۱۸]. یولاه[1] و همکاران (۲۰۲۱)، یک روش انتشار پیام اضطراری برای محیط شهری ارائه کردند که در آن از معیارهای زاویه حرکتی خودرو و تخمین پایداری پیوند برای انتخاب سرخوشه و خودروهای میانی استفاده می‌شود و با یک تأخیر قابل‌قبول، نسبت تحویل بسته در سناریوهای شهری را بهبود داده است [۳۵].

خاکپور و همکاران (۲۰۱۷)، یک روش خوشه‌بندی مبتنی بر پیش‌بینی ارائه دادند که در آن هر وسیله نقلیه باید به دوربین‌های جلو و عقب مجهز باشد تا بتواند ویژگی‌های بصری وسیله نقلیه هدف را شناسایی کند. علی‌رغم بهبودهای این روش در سناریوهای بزرگراهی، طول عمر سرخوشه و اعضا در مسیرهای پرترافیک کاهش می‌یابد و برای سناریوهای شهری کم‌اثر است [۱۹]. قورشی[2] و همکاران (۲۰۱۸)، با استفاده از معیارهای میزان فاصله و قدرت سیگنال بین خودروهای همسایه، یک مدل مسیریابی مبتنی بر خوشه پیشنهاد کردند که مقیاس‌پذیر است و در مسیرهای پرترافیک، کارایی مقبولی دارد؛ ولی نرخ تحویل بسته‌ها در سرعت‌های متغیر کاهش می‌یابد [۲۵].

عباس و همکاران (۲۰۱۸)، یک روش مسیریابی مبتنی بر خوشه و کلونی مورچه را پیشنهاد کردند که بر اساس تعداد ارتباطات قابل‌اطمینان، CH را انتخاب می‌کند و با کاهش پیام‌های درخواست مسیر، قابلیت اطمینان را بهبود می‌بخشد. این روش برای سناریوهای غیرمتراکم، بهبودهای مؤثری در میزان تأخیر داشته است؛ ولی مصرف انرژی در آن از سایر روش‌ها بیشتر است [۱]. رن[3] و همکاران (۲۰۱۷)، با معرفی آستانه فاصله ایمن، پایداری را در بعضی از سناریوها بهبود دادند؛ ولی پایداری خوشه‌ها به شرایط مسیر وابسته است و برای خودروهای خط کم‌سرعت مطلوب نیست [۲۷].

ریویرارد[4] و همکاران (۲۰۱۸)، یک الگوریتم خوشه‌بندی توزیع‌شده ارائه کردند که سرخوشه به‌وسیله خودروهای میانی با سایر خوشه‌ها مرتبط می‌شود. این روش میزان ازدحام ترافیکی را کاهش می‌دهد؛ ولی به حافظه محلی برای به‌روزرسانی و پردازش اطلاعات همسایگان نیازمند است [۲۸]. زنوسی[5] و همکاران (۲۰۱۹)، یک روش خوشه‌بندی ارائه کردند که در آن، وسایل نقلیه از طریق RSU، اطلاعات همسایگان چند گام را به‌دست می‌آورند. در این روش، طول عمر خوشه و همچنین نسبت تحویل بسته‌ها در سناریوهای تعریف‌شده از عملکرد مناسبی برخوردار است [۲۹].

1. Ullah
2. Qureshi
3. Ren
4. Rivoirard
5. Senouci

همان‌طور که بیان شد، دامنه کاربردی اغلب پژوهش‌های ذکرشده، مربوط به سناریوهای خاص و در بعضی از موارد وابسته به زیرساخت RSU است. روش‌های مربوط به MANET[1] نیز بدون توجه به قابلیت‌های زیرساخت هوشمند در جاده‌ها طراحی شده و پیشنهادی برای بهره‌برداری از این امکان، ارائه نشده است.

در مقایسه با روش‌های بیان‌شده، در این پژوهش یک مدل خوشه‌بندی چندمعیاره با هدف افزایش قابلیت اطمینان ارائه می‌شود و خودرویی که دارای معیارهای اطمینان‌بخش، نظیر بهترین سابقه، بهترین تطابق سرعت و بیشترین اتصال با همسایگان باشد، به‌عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود و درنتیجه ارتباط اعضای خوشه در حین حرکت به‌صورتی اطمینان‌بخش مهیا می‌شود. عدم‌وابستگی به زیرساخت و فراهم‌سازی تبادل پیام‌های ایمنی با سرعت بالا و با کمترین تأخیر از مزیت‌های مشخص روش پیشنهادی نسبت به روش‌های پیشین است.

۳. روش‌شناسی پژوهش

روش کلی این پژوهش با توجه به فازهای مختلف، روش ترکیبی است. با توجه به لزوم شفافیت در ابعاد کلی پژوهش، گام نخست از نوع اکتشافی است. با توجه به اینکه در این پژوهش، مدل‌های مسیریابی و خوشه‌بندی متعددی مطالعه، مقایسه و بررسی می‌شوند، گام بعدی پژوهش از نوع مطالعه تطبیقی است. بعد از تعیین محدوده روش‌های خوشه‌بندی مطمئن و بلادرنگ در اینترنت وسایل نقلیه، مدل‌هایی شناسایی می‌شوند و موردبررسی و مطالعه تطبیقی قرار می‌گیرند و در مرحله بعدی با استفاده از پارادایم علم طراحی، مدل پیشنهادی ارائه می‌شود. با توجه به امکان کاربرد مدل ارائه‌شده در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند و بهره‌برداری از آن در اپلیکیشن‌های خدمات سفرهای شهری و مسیریابی، این پژوهش از نوع کاربردی نیز است.

برای تعیین میزان اعتبار روش پیشنهادی، ضمن شبیه‌سازی سناریوهای شهری و بزرگراهی، معیارهایی نظیر سربار کنترلی، میزان تأخیر، نرخ تحویل بسته‌های اطلاعاتی، میزان تغییرات خوشه و طول عمر خوشه، اندازه‌گیری و سپس کیفیت مدل پیشنهادی با سایر مدل‌های مطرح در همین معیارها مقایسه و تحلیل می‌شود.

مفروضات. در این پژوهش هر خودرو مجهز به سیستم GPS[2] و یک نقشه دیجیتالی است که به‌وسیله آن هر خودرو می‌تواند شناسه جاده را تعیین کند؛ همچنین هر خودرو به یک OBU[3] مجهز است که خودروها را قادر می‌سازد تا پیام‌های دوره‌ای بین خودروها را تبادل و پردازش

1. Mobile Ad Hoc Network
2. Global Positioning System
3. On-Board Unit

کنند. فقط وسایل نقلیه‌ای که در یک جهت حرکت می‌کنند برای تشکیل یک گروه خوشه‌ای در نظر گرفته می‌شوند و پیام‌های خودروهای در حال حرکت در جهت دیگر نادیده گرفته می‌شوند.

مدل شبکه. شبکه اینترنت وسایل نقلیه (IoV) در این پژوهش متشکل از زیرساخت‌های الکترونیکی هوشمند جاده‌ای و خودروهای در حال حرکت در کلیه مسیرهای شهری و بزرگراهی است. مطابق شکل ۱، خودروهای مسیر در یکی از حالت‌های ذکرشده زیر طبقه‌بندی می‌شوند.
– خودروی ثبت‌نشده[1] (UN): حالت اولیه یک خودرو در شروع حرکت است. در این حالت، خودرو عضو هیچ خوشه‌ای نیست؛
– سرخوشه (CH): سرخوشه، مسئول هماهنگی با اعضای خوشه خود و ارتباط با سایر سرخوشه‌ها و زیرساخت است؛
– سرخوشه جایگزین (SCH): در زمان تغییر وضعیت سرخوشه، جانشین آن می‌شود و تمامی مسئولیت‌های آن را به عهده می‌گیرد.
– عضو خوشه (CM): اعضای خوشه، خودروهای عضو در یک خوشه هستند.

روش پیشنهادی برای مدیریت خوشه‌بندی. در این بخش یک مدل بدون وابستگی به زیرساخت برای تشکیل خوشه و انتخاب CH پیشنهاد می‌شود. با هدف انعطاف‌پذیری بیشتر و بهره‌مندی از امکانات زیرساختی، اطلاعات وضعیت خوشه می‌تواند در زمان دسترسی به RSU، به آن منتقل شود. این مدل در زمانی که دسترسی به RSU موجود نباشد، به‌درستی کار می‌کند و در زمان دسترسی به RSU می‌تواند با زیرساخت هوشمند، همگام شود و سرعت و دقت مسیریابی را افزایش دهد.

معیارهای پیشنهادی برای انتخاب سرخوشه و محاسبه وزن تجمیعی. در این بخش چهار معیار برای انتخاب سرخوشه معرفی می‌شود و با تخصیص ضریب به هر معیار، نحوه محاسبه وزن تجمیعی ارائه می‌شود. هدف، انتخاب خودرویی است که بهترین شرایط تعادل، تطابق و پایداری را در ارتباطات شبکه‌ای داشته باشد و بر اساس معیارهای پیشنهادی، خودرو با بهترین سابقه حضور قبلی، مناسب‌ترین سرعت و بیشترین تعداد همسایگان پایدار انتخاب خواهد شد.

1. Unregistered Node

جدول ۲. علامت‌های استفاده‌شده در این پژوهش

علامت اختصاری	توضیحات
CH	خودروی سرخوشه
SCH	خودروی جایگزین برای سرخوشه
CM	خودروی عضو یک خوشه
UN	خودرویی که عضو هیچ خوشه‌ای نیست
$W_{(i)}$	وزن خودرو
V_i.ID	شناسه خودرو
V_i.status	وضعیت خودرو
H_i	سابقه حرکتی خودرو
V_i.velocity	سرعت کنونی خودرو
CJI	پیام پیوستن به یک خوشه (Cluster join invitation)
WCM	پیام محاسبه وزن خودرو (Weight calculation message)
Discovery	مقایسه وزن خودرو با وزن همسایگان و یافتن بالاترین وزن
InitiateCluster	تعیین CH و شروع فرایند ایجاد خوشه

معیار اول: سابقه حضور قبلی خودرو در محدوده مکانی/ زمانی کنونی. با توجه به سبک زندگی شهری و تردد خودروها در مسیرهایی خاص در روزها و ساعاتی مشخص، به‌عنوان نمونه به‌منظور ورود شهروندان به محل کار و همچنین خروج از محل کار به منزل و تکرار این الگو، احتمال تکرار تردد خودروها در بعضی از مسیرها وجود دارد و می‌توان از این موضوع به‌عنوان یک فرصت برای تشکیل خوشه‌هایی پایدارتر استفاده کرد؛ به‌نحوی‌که خودروی سرخوشه یا جایگزین از میان خودروهایی انتخاب شود که احتمال ادامه مسیر توسط آن‌ها بیشتر از احتمال خروج آن‌ها از مسیر است [۳۲]؛ بنابراین حضور خودرو در مسیرهایی مشخص و در زمان‌های خاص می‌تواند به‌عنوان معیاری برای افزایش درجه اطمینان خودروی سرخوشه قابل‌بهره‌برداری باشد. تاریخچه تحرک خودروها در حافظه داخلی آن‌ها سابقه‌نگاری می‌شود. عبور از هر مسیر با توجه به امکانات GPS قابل‌تشخیص است و می‌توان به‌ازای هر مسیر مشخص، یک شناسه در نظر گرفت [۱۵]. در حافظه هر خودرو، اطلاعات تاریخچه حرکت در یک جدول به نام MHI نگهداری می‌شود. مطابق شکل ۲، این جدول شامل شناسه مسیر و زمان حضور خودرو در آن مسیر (زمان ورود و خروج) است که به‌صورت سه فیلد به نام‌های Road ID (RID)، Inter_time و Exit_time ثبت می‌شود. هر خودرو به‌محض ورود به محدوده جغرافیایی که قبلاً در آن حضور داشته است، رکوردهای جدول MHI را به‌روزرسانی می‌کند. تکرار حضور خودرو «در محدوده مکانی فعلی»، به‌عنوان یک پارامتر مثبت و تکرار حضور خودرو «در بازه زمانی کنونی» در این مکان، یک پارامتر مثبت مضاعف به‌حساب می‌آید.

RID	Inter_time	Exit_time

شکل ۲. فیلدهای جدول MHI

پارامتر H_G معادل سابقه حضور قبلی خودرو در محدوده جغرافیایی فعلی است و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$\boldsymbol{H_G}$ == Select Count (*) From MHI Where (RID = Current Road ID)

پارامتر H_t معادل مشابهت زمانی حضور قبلی خودرو در محدوده جغرافیایی فعلی است و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$\boldsymbol{H_t}$ == Select Count (*) From MHI Where (RID=Current Road ID) AND (Current time is a time between Inter_time and Exit_time)

پارامتر H_V به‌عنوان شاخص سابقه حرکتی/ زمانی خودرو معرفی می‌شود و با رابطه ۱، محاسبه می‌شود:

$$H_V = \frac{H_G + H_t}{2}$$ رابطه (۱)

برای نرمال‌سازی مقدار عددی سابقه خودرو و قابلیت استفاده از آن در محاسبه وزن تجمیعی از رابطه ۲، استفاده می‌شود:

$$P_V = \begin{cases} 1 - \frac{1}{2H_V} & H_V > 0 \\ 0 & H_V = 0 \end{cases}$$ رابطه (۲)

معیار دوم: کمترین تفاوت سرعت با میانگین هارمونیک سرعت خودروهای همسایه. هدف از مطرح‌کردن این معیار، شناسایی خودرویی است که از پایدارترین ارتباط با همسایگانش برخوردار باشد. منظور از پایداری، حرکت خودروها به‌صورت دسته‌جمعی و در کنار یکدیگر است؛ به‌گونه‌ای که در طول حرکت، قطعی یا اختلال ارتباطی بین آن‌ها حداقل باشد.

محاسبه میانگین اختلاف سرعت هر خودرو با خودروهای همسایه‌اش می‌تواند توسط خودش انجام شود و نتیجه برای اخذ تصمیم به RSU اعلام شود و یا می‌تواند توسط RSU انجام شود. با توجه به اینکه یکی از اهداف این پژوهش، ارائه مدل خوشه‌بندی منعطف و بدون وابستگی به زیرساخت است، این معیار توسط هر خودرو محاسبه و نتیجه آن با خودروهای همسایه به

اشتراک گذاشته می‌شود؛ بنابراین در مواردی که دسترسی به RSU برقرار نباشد، امکان محاسبه معیارها و خوشه‌بندی مستقل از زیرساخت‌های هوشمند برقرار خواهد بود. با توجه به ارسال پیام‌های دوره‌ای توسط خودروهای همسایه و اعلام سرعت خودروهای همسایه به یکدیگر، اگر سرعت خودروهای همسایه به‌صورت $x_1, x_2, x_3 \ldots, x_n$ باشد، برای محاسبه میانگین هارمونیک از رابطه ۳، استفاده می‌شود.

$$H = \frac{n}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{x_i}} \qquad X_i > 0$$ رابطه (۳)

مرحله بعدی سنجش میزان اختلاف سرعت کنونی خودرو با میانگین هارمونیک سرعت خودروهای همسایه است. در اینجا نماد S_d نشان‌دهنده این اختلاف است و به‌صورت قدر مطلق اختلاف سرعت خودرو با نماد V با میانگین هارمونیک با نماد H محاسبه می‌شود:

$$S_d = |V - H|$$ رابطه (۴)

برای نرمال‌سازی S_d و امکان استفاده از آن در محاسبه وزن تجمیعی از رابطه ۵، استفاده می‌شود.

$$M_V = \begin{cases} \frac{1}{2S_d+1} & S_d > 0 \\ 1 & S_d = 0 \end{cases}$$ رابطه (۵)

تفاوت روش پیشنهادی با کارهای قبلی در این است که به‌جای استفاده از میانگین حسابی یا میانگین هندسی، از میانگین هارمونیک استفاده می‌کند. مطابق بررسی انجام‌شده توسط پیرو[1] و همکاران (۲۰۲۱)، میانگین هارمونیک برای محاسبه میانگین مقادیری مانند سرعت که برآمده از تفاوت مکان و مسافت در گذر زمان است، مناسب‌تر است و عدد دقیق‌تری را به‌عنوان میانگین محاسبه می‌کند [۲۳].

معیار سوم: تعداد همسایگان قابل‌اطمینان خودرو. به علت اختلاف سرعت بین خودروها، ممکن است خودروهای متفاوتی در طول حرکت در مسیر در نزدیکی یکدیگر قرار گیرند. تعداد همسایگان یک خودرو می‌تواند به‌عنوان معیاری برای انتخاب خودروی سرخوشه مدنظر قرار گیرد و در اغلب پژوهش‌های اخیر نیز از همین معیار استفاده شده است [۱۵، ۲۹، ۴۰]؛ ولی

1. Pierro

خودروهایی که به‌علت تفاوت سرعت، جهت حرکت یا تغییر مسیر، به‌صورت گذری در کنار هم قرار گرفته‌اند، نباید در شمار همسایگان مطمئن خودرو قرار بگیرند و در انتخاب CH تأثیرگذار باشند. هرچقدر تعداد همسایگان مطمئن خودرو بیشتر باشد، سرعت آن‌ها مشابهت بیشتری دارد و مدت‌زمان بیشتری را در کنار یکدیگر خواهند بود و این موضوع، قابلیت اطمینان بیشتری را برای انتخاب CH فراهم می‌کند.

هر خودرو با دریافت پیام‌های دوره‌ای، همسایگان فعال خود را تشخیص می‌دهد و اطلاعات آن‌ها را در جدول همسایگی ذخیره می‌کند و هنگام دریافت هر پیام می‌تواند قدرت سیگنال آن‌ها را محاسبه کرده و در جدول یادشده ثبت کند. اندازه‌گیری قدرت سیگنال در لایه فیزیکی انجام می‌شود و در دسترس لایه‌های بالاتر قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه پیام‌ها به‌صورت دوره‌ای دریافت می‌شود، می‌توان اطمینان داشت که قدرت سیگنال همسایگان فعال در فاصله زمانی حداکثر یک پیام دوره‌ای به‌روزرسانی می‌شود [۳۳]. هنگامی که خودرو از همسایگانش پیام دریافت می‌کند، با استفاده از رابطه ۶، قدرت سیگنال دریافتی را با مقدار قبلی آن مقایسه می‌کند. نتایج این مقایسه نشان‌دهنده دور و یا نزدیک شدن دو خودرو به یکدیگر در فاصله زمانی حداکثر تا یک پیام دوره‌ای است.

$$R_i = \frac{P_n}{P_n + P_o} \qquad \text{رابطه (۶)}$$

در رابطه ۶، P_o نمایانگر قدرت سیگنال قبلی و P_n نشان‌دهنده قدرت سیگنال جدید است. مطابق این رابطه، مقدار R_i که نمایانگر قابلیت اطمینان خودروهای همسایه است، عددی بین صفر و یک خواهد بود ($0<R_i<1$). هر چه قدرت سیگنال جدید بیشتر از قبل باشد، R_i به سمت ۱ میل می‌کند. هر چه قدرت سیگنال جدید کمتر از قبل باشد، R_i به سمت صفر میل می‌کند و درصورتی‌که قدرت سیگنال ثابت بماند، مقدار R_i برابر ۰/۵ خواهد بود. برای تنظیم درجه اطمینان می‌توان با توجه به شرایط، یک مقدار آستانه[1] در نظر گرفت؛ بنابراین درصورتی‌که حاصل تقسیم، کمتر از ۰/۵، اما بیشتر از مقدار آستانه باشد، به‌معنای کاهش قدرت سیگنال است؛ اما این کاهش احتمالاً موجب قطع ارتباط نخواهد شد. در حالتی که نسبت قدرت سیگنال‌های جدید و قدیم از حد آستانه هم کمتر باشد، به این معنا است که خودروها به‌سرعت در حال دورشدن از یکدیگر هستند و قطع ارتباط در حال وقوع است؛ بنابراین مطابق با رابطه ۷، برای محاسبه تعداد همسایگان هر خودرو در بازه زمانی اخیر، جمع تعداد رکوردهای جدول همسایگی که مقدار R_i در آن‌ها بیشتر از مقدار آستانه باشد، نشان‌دهنده تعداد همسایگان مطمئن هر خودرو خواهد بود.

1. Threshold

$$V_R(t) = \sum_{i=1}^{n} R_i > Threshold$$ رابطه (۷)

در رابطه ۷، i به‌صورت بالقوه نشان‌دهنده همسایه مطمئن یک خودرو است و اگر در زمان t ، R_i بیشتر از مقدار آستانه باشد، خودروی i یکی از همسایگان مطمئن به‌شمار می‌رود. برای نرمال‌سازی V_R و امکان استفاده از آن در محاسبه وزن تجمیعی، از رابطه ۸ استفاده می‌شود.

$$N_R = 1 - \frac{1}{V_R(t)} \quad (V_R = 1 \quad \textit{if there is no reliable neighbor})$$ رابطه (۸)

معیار چهارم: کیفیت عملکرد خودرو در خوشه‌های قبلی. نحوه عملکرد هر خودرو در نقش‌های قبلی به‌عنوان CH، SCH و یا CM می‌تواند به‌منزله معیاری برای سنجش میزان اعتبار آن قابل‌بهره‌برداری باشد. با توجه به اینکه برای هر خوشه یک شناسه متمایز در نظر گرفته می‌شود، مدت‌زمان و تعداد دفعاتی که خودرو در هر خوشه، نقش CH، SCH و یا CM را ایفا می‌کند، در حافظه داخلی آن نگهداری می‌شود و زمانی که نقش یک خودرو تغییر می‌کند و یا از یک خوشه جدا می‌شود، مقادیر مربوط به مدت‌زمان و تعداد دفعات نقش مربوطه، محاسبه و نگهداری می‌شود. کیفیت عملکرد خودرو در خوشه‌های قبلی با رابطه ۹، قابل‌محاسبه است.

$$T_{VH} = \alpha \times \frac{\sum D_{CH}}{N_{CH}} + \beta \times \frac{\sum D_{SCH}}{N_{SCH}} + \gamma \times \frac{\sum D_{CM}}{N_{CM}}$$ رابطه (۹)

D_{CH}: مدت‌زمانی که یک خودرو مسئولیت CH را بر عهده گرفته است.
N_{CH}: تعداد دفعاتی که یک خودرو مسئولیت CH را بر عهده گرفته است.
D_{SCH}: مدت‌زمانی که یک خودرو مسئولیت SCH را بر عهده گرفته است.
N_{SCH}: تعداد دفعاتی که یک خودرو مسئولیت SCH را بر عهده گرفته است.
D_{CM}: مدت‌زمانی که یک خودرو مسئولیت CM را بر عهده گرفته است.
N_{CM}: تعداد دفعاتی که یک خودرو مسئولیت CM را بر عهده گرفته است.
α: ضریب تأثیر سابقه خودرو در مسئولیت سرخوشه ($\alpha = 3$)
β: ضریب تأثیر سابقه خودرو در مسئولیت سرخوشه جایگزین ($\beta = 2$)
γ: ضریب تأثیر سابقه خودرو در مسئولیت عضویت در خوشه ($\gamma = 1$)

مقادیر عددی ضرایب تأثیر α، β و γ به‌نوعی تعیین می‌شود که ترتیب تأثیرگذاری نقش‌های سرخوشه، سرخوشه جایگزین و عضو خوشه رعایت شود؛ درضمن مقدار عددی «کیفیت عملکرد خودرو در خوشه‌های قبلی» یا R_V به‌صورت رابطه ۱۰، محاسبه می‌شود.

$$R_V = \begin{cases} 1 - \frac{1}{2T_{VH}} & T_{VH} > 0 \\ 0 & T_{VH} = 0 \end{cases}$$ رابطه (۱۰)

محاسبه وزن تجمیعی. در این بخش نحوه محاسبه وزن تجمیعی بیان می‌شود و با توجه به ضرایب تعریف‌شده می‌توان میزان اهمیت و تأثیرگذاری معیارها را با توجه به شرایط محیطی و ترافیکی تغییر داد. تعیین این ضرایب یا تغییر آن برای خودروهای مسیر باید توسط سیستم مدیریت ترافیک انجام شود؛ بنابراین در زمان‌هایی که خودروها تحت پوشش RSU قرار بگیرند، امکان تنظیم مجدد[1] ضرایب وزنی در الگوریتم خوشه‌بندی خودروها مهیا می‌شود؛ ازاین‌رو با هدف انتخاب خودروی سرخوشه با بهترین سابقه حضور قبلی، مناسب‌ترین سرعت، بیشترین همسایه مطمئن و بهترین کیفیت عملکرد در خوشه‌های قبلی، وزن هر خودرو یا $W_{(v)}$ به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$W_{(v)} = C_1 \times P_V + C_2 \times M_V + C_3 \times N_R + C_4 \times R_V$$ رابطه (۱۱)

P_V: سابقه حضور قبلی خودرو در محدوده مکانی/ زمانی فعلی
M_V: میزان فاصله سرعت خودرو با میانگین هارمونیک خودروهای همسایه
N_R: تعداد همسایگان قابل‌اطمینان
R_V: عملکرد خودرو در خوشه‌های قبلی

برای تغییر میزان تأثیر شاخص‌ها در شرایط ترافیکی مختلف، معادله $C_1 + C_2 + C_3 + C_4 = 1$ برای ضرایب وزنی برقرار است. کلیه محاسبات مربوط به معیارها در حافظه داخلی هر خودرو انجام می‌شود و پس از محاسبه وزن و به‌اشتراک‌گذاری آن، خودرو با بهترین وزن، برای CH نامزد می‌شود که فرایندهای مربوط به آن در ادامه شرح داده خواهد شد.

با توجه به اینکه یکی از اهداف اصلی این پژوهش، افزایش قابلیت اطمینان ارسال پیام در شبکه‌های خودرویی است، معیارهای خوشه‌بندی نیز با همین هدف‌گذاری انتخاب شده‌اند. اسلوب اصلی انتخاب معیارها بر مبنای تأثیرگذاری مدل تحرک قبلی و کنونی خودروها و همچنین وضعیت احتمالی آینده آن‌ها با توجه به مدل تحرک کنونی است. معیارهای اول و چهارم،

1. Reset

گذشته‌نگر هستند و معیار سوم، یک معیار حال‌نگر و همچنین معیار دوم، یک معیار آینده‌نگر است. با استفاده از این چهار معیار به‌صورت ترکیبی، انتظار می‌رود که قابلیت اطمینان خوشه‌بندی و تبادل پیام در شبکه‌های خودرویی به میزان زیادی افزایش یابد. نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل نظری و شبیه‌سازی‌های متعدد انجام‌شده، تصدیق‌کننده این موضوع هستند.

مقداردهی اولیه و کشف همسایگی. علامت‌ها و کلمات اختصاری این پژوهش در جدول ۲، نشان داده شده است. مقداردهی اولیه خودرو و تنظیم حالت آن به UN در الگوریتم ۱، انجام می‌شود. هر خودرو با ارسال یک پیام دوره‌ای، خود را به همسایگانش معرفی کرده و پس از دریافت پیام دوره‌ای همسایگان، اطلاعات جدول همسایگی خود را به‌روز می‌کند؛ سپس با دریافت سرعت و موقعیت مکانی خود و با کمک روابط ۲، ۵، ۸ و ۱۰، مقادیر لازم برای محاسبه وزن را به‌دست می‌آورد و با استفاده از رابطه ۱۱، وزن خود را محاسبه می‌کند؛ سپس با استفاده از یک پیام دوره‌ای، اطلاعات لازم شامل شناسه خودرو، سرعت کنونی، سابقه حرکتی و وزن خود را برای همسایگان ارسال می‌کند و منتظر دریافت یک پیام پیوستن به خوشه[1] (CJI) می‌شود.

الگوریتم ۱. مقداردهی اولیه خودرو

1. V_A.status ← UN
2. Send a Periodic message to Neighbors
3. Wait for a Periodic message
4. Receive(Periodic message)
5. Update Neighbor table
6. Get V_i(position, velocity)
7. Calculate Vehicle History Movement value based on Eq.2
8. Calculate Harmonic mean based on Eq.5
9. Calculate Reliable neighbor number based on Eq.8
10. Calculate Vehicle Reputation in Previous Clusters based on Eq.10
11. Calculate weight based on Eq.11
12. Send weight (V_i.ID, velocity, H_i, $W_{(i)}$) to Neighbors
13. Wait for a CJI message

فرض بر این است که هر وسیله نقلیه با استفاده از پیام‌های دوره‌ای، به فهرست همسایگان و مشخصات آن‌ها دسترسی دارد. در الگوریتم ۲، خودروی A در زمان ورود به مسیر، با مبادله پیام دوره‌ای با سایر خودروهای محدوده ارتباطی‌اش، رابطه همسایگی ایجاد می‌کند. اگر پیام CJI را دریافت کند، به این معنا است که در حال حاضر یک خوشه در مجاورت آن وجود دارد و می‌تواند به آن بپیوندد. اگر چند پیام CJI دریافت کند، به این معنا است که چند خوشه در نزدیکی این خودرو قرار دارد و باید بهترین خوشه را از نظر نزدیک‌تربودن و ارزش وزن سرخوشه

1. Cluster Join Invitation

آن، انتخاب کند. نزدیک‌بودن به سرخوشه با استفاده از اندازه‌گیری قدرت سیگنال پیام CJI انجام می‌شود.

الگوریتم ۲. ورود خودرو به جاده و الحاق به خوشه‌های موجود

```
1. Broadcast Periodic Message
2. If V_A receive CJI Then //existing a cluster near vehicle A
3. If (multiple CJI messages received) And (Signal Strength of CJIs > Threshold) Then //
CH should be near enough and worthier)
4.    If (W_(i)<W_(j)) Then // Compare weight of each CH
5.      Join Cluster j
6.      V_A.status = CM // Vehicle A is going to be a    member of Cluster j
7.    Else
8.      Join Cluster i
9.    V_A.status = CM // Vehicle A is going to be a member of Cluster i
10.  End If
11. End If
12. End If
```

تشکیل خوشه و فرایند انتخاب سرخوشه. اگر خودروی A، پیام CJI را دریافت نکند، به این معنا است که نیاز به تشکیل خوشه و انتخاب CH وجود دارد. در اینجا هر وسیله نقلیه، اطلاعات مربوط به خودروهای همسایه خود را دارد و با مقایسه وزن آن‌ها می‌تواند تعیین کند که کدام وسیله نقلیه تبدیل به CH خواهد شد. در این زمان، اطلاعات وضعیت جدید برای همه همسایگان ارسال می‌شود. با دریافت این اطلاعات، الگوریتم انتخاب CH برای تعیین بالاترین مقدار وزن اجرا می‌شود. اگر خودروی A بالاترین وزن را داشته باشد، با اختصاص شناسه خود به‌عنوان CH ID، خود را به‌عنوان CH اعلام می‌کند؛ در غیر این صورت برای مدت‌زمانی معادل با یک پیام دوره‌ای (Threshold)، منتظر دریافت پیام CJI می‌ماند. وقتی زمان انتظار منقضی شود و هیچ درخواستی از خودروهای همسایه دریافت نشود، خودروی A تشکیل خوشه را آغاز می‌کند. این روش در الگوریتم ۳، نشان داده شده است.

هنگامی که به‌صورت هم‌زمان دو یا چند وسیله نقلیه با وزن یکسان وجود داشته باشند، هیچ‌یک قادر به تشکیل یک خوشه نیستند. در این حالت، رقابت جدیدی را شروع می‌کنند و خودرویی که از سابقه حرکتی بهتر و عملکرد بهتر در خوشه‌های قبلی برخوردار است، انتخاب می‌شود؛ سپس خودروی منتخب، پیام Initiate Cluster را برای همه خودروها ارسال می‌کند و وضعیت خود را به CH تغییر می‌دهد و شناسه خود را به‌عنوان شناسه خوشه تنظیم می‌کند.

الگوریتم ۳. تشکیل خوشه و فرایند انتخاب سرخوشه

```
1. V_A Broadcast WCM //Vehicle A sends weight calculation message to the neighbors
2. Broadcast Periodic Message // Vehicles broadcast status information together with weight value
3. Discovery (i) // Each vehicle compares weights to discover CH
4. Calculate T_A //Calculate the waiting threshold time for a cluster head response: equal to a periodic message receive duration
5. While T_A > 0 do
6.    If InitiateCluster (V_CH.ID) Then // InitiateCluster message with CH.ID is received and CH is found
7.       StopCompetition
8.       Process InitiateCluster (V_CH.ID) // Process the received message
9.    Else
10.      Decrement waiting time T_A
11.   End if
12.   If W_(A) = W_(B) Then // If weight value of two vehicles are equal
13.   If (P_A+R_A) > (P_B+R_B) Then //determine the vehicle with better movement precedent and reputation in previous clusters
14.      V_A.status ← CH
15.      Cluster.ID ← V_A.ID
16.   Else
17.      V_B.status ← CH
18.      Cluster.ID ← V_B.ID
19.   End if
20.   End if
21. End while
22. Send InitiateCluster(V_CH.ID) // CH broadcasts its ID to the neighbors
```

تعیین خودروی جایگزین سرخوشه. گام بعدی برای حفظ ثبات خوشه، تعیین سرخوشه جایگزین یا SCH است. وسیله نقلیه با بیشترین مقدار وزن در بین وسایل نقلیه باقیمانده توسط CH انتخاب خواهد شد و به آن وضعیت SCH اختصاص داده می‌شود و خودروهای باقیمانده به CM تبدیل می‌شوند. این موارد در الگوریتم ۴، نشان داده شده است.

الگوریتم ۴. تعیین خودروی جایگزین سرخوشه توسط خودروی سرخوشه

```
1. BestWeight(i) = array[0]
2. For each i do // The weight of all members is checked to find SCH
3.   If (array[i] > BestWeight(i) Then
4.      BestWeight(i) = array[i]
5.      V_i.status ← SCH
6.   Else
7.      V_i.status ← CM // Change vehicle status to CM
8.   End if
9.  End for
10. Broadcast Periodic Message // Update SCH status information
```

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

در این بخش، منطق روش پیشنهادی تحلیل و کارایی آن ارزیابی می‌شود.

تحلیل نظری روش پیشنهادی. مدیریت خوشه در شبکه‌های خودرویی شامل مراحل شکل‌گیری خوشه و انتخاب سرخوشه، نگهداری خوشه، فعال‌سازی سرخوشه جایگزین در زمان عدم‌کفایت سرخوشه، ادغام خوشه و ترک خوشه و پیوستن به یک خوشه جدید است. در همه این مراحل، پیام‌های کنترلی بین اعضای خوشه مبادله می‌شود و به مصرف منابع شبکه و انرژی و همچنین منابع پردازشی منجر می‌شود. در ادامه، با تحلیل و اثبات ناچیزبودن سربار کنترلی در روش پیشنهادی، میزان موفقیت آن برای پوشش‌دهی چالش‌های خوشه‌بندی بررسی می‌شود.

هر چه اختلاف سرعت خودروهای هر خوشه بیشتر باشد، احتمال خروج خودرو از یک خوشه و پیوستن آن به خوشه بعدی بیشتر می‌شود. بین اختلاف سرعت یک خودرو با خودروهای همسایه‌اش و احتمال قطع ارتباط آن‌ها رابطه‌ای وجود دارد. برای نمونه، اگر اختلاف سرعت دو خودرو ۱۰ متر بر ثانیه باشد و محدوده انتقال آن‌ها ۱۰۰ متر باشد، در حالتی که آن‌ها در کنار یکدیگر باشند، ارتباط دو خودرو فقط ۱۰ ثانیه با پرجا است و پس‌ازآن از محدوده انتقال یکدیگر خارج می‌شوند. حال اگر اختلاف سرعت دو خودرو ΔV فرض شده و محدوده انتقال R در نظر گرفته شود، حداکثر زمان پایداری ارتباط دو خودرو مطابق رابطه $Max(t) = \frac{R}{\Delta V}$ محاسبه می‌شود. در این رابطه اگر دو خودرو در کنار یکدیگر نباشند، زمان محاسبه‌شده متفاوت می‌شود و اگر در حال خروج از محدوده انتقال یکدیگر باشند، ارتباط آن‌ها سریع‌تر از بین می‌رود. برای وضوح بیشتر مسئله، یک مدل حرکتی ساده برای خودروها با فرض‌های زیر بررسی و تحلیل می‌شود:

ـ تعداد n خودرو در یک خیابان و در یک سمت در حال حرکت بوده و در ناحیه انتقال یکدیگر قرار گرفته و همسایه هستند؛

ـ همه خودروها دارای محدوده انتقال رادیویی یکسان با شعاع R هستند؛ بنابراین هنگامی که فاصله دو خودرو کمتر از R باشد، یک پیوند دو جهته ایجاد می‌شود و وقتی فاصله بزرگ‌تر از R باشد، پیوند آن‌ها شکسته می‌شود؛

ـ خودروی A، با سرعت بیشتر از میانگین سرعت خودروهای همسایه‌اش در حال حرکت است.

در اینجا برای مقایسه میزان تأثیر تفاوت سرعت خودرو با میانگین سرعت همسایگانش در یک خوشه، در افزایش احتمال قطع ارتباط و ایجاد سربار خوشه‌بندی مجدد، دو وضعیت به شرح زیر ترسیم می‌شود:

وضعیت الف) شامل موقعیتی که خودروی A در وسط یک خوشه و در میان همسایگانش در حال حرکت است؛

وضعیت ب) خودروی A بعد از گذشت زمان t و با توجه به‌سرعت بیشتر نسبت به همسایگانش در خارج از لبه خوشه قرار گرفته است.

V_A: سرعت خودروی A

V(m): میانگین هارمونیک سرعت خودروهای خوشه

$\Delta V = |V_A - V(m)|$: اختلاف سرعت خودروی A و میانگین سایر خودروها

R: محدوده انتقال خودروها

n_1: تعداد همسایگان خودروی A در وضعیت الف

n_2: تعداد همسایگان خودروی A در وضعیت ب

$Max(t) = \frac{R}{\Delta V}$: فاصله زمانی t سپری‌شده برای خروج از لبه خوشه

$P_{SL}(t) = \frac{n_1}{n_2}$: احتمال کاهش تعداد پیوندهای پایدار خودروی A در زمان t

با توجه به بررسی سناریوهای شکست ارتباط خودرو پس از خروج از محدوده R، مشخص می‌شود که میزان «قطع ارتباط» با افزایش «اختلاف سرعت خودرو با میانگین سرعت همسایگانش» ارتباط مثبت دارد؛ به‌عبارت‌دیگر اگر خودروها سریع‌تر یا کندتر از همسایگانشان حرکت کنند، احتمال قطع ارتباط آن‌ها بیشتر می‌شود. بر همین اساس، میزان قطع ارتباط با محدوده انتقال خودروها رابطه معکوس دارد و برخورداری از محدوده انتقال بیشتر باعث ارتباط پایدارتر می‌شود.

در این تحلیل مشخص می‌شود که میزان قطع ارتباط با سرعت خودروها، یک رابطه خطی است و در صورت تغییر سرعت خودرو، تعداد ارتباطات قطع‌شده در طی یک واحد زمانی مشخص افزایش می‌یابد؛ به‌بیان‌دیگر اگر خودروهایی که سرعت حرکت آن‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر است، به‌عنوان اعضای یک خوشه انتخاب شوند و به‌خصوص اگر خودروی سرخوشه و جایگزین آن بیشترین مطابقت را با میانگین سرعت اعضای خوشه داشته باشند، احتمال تغییر توپولوژی کمتر شده و از سربارهای تبادل پیام برای ساخت مجدد خوشه جلوگیری می‌شود.

ارزیابی کارایی. برای ارزیابی کارایی روش پیشنهادی، سناریوهای متعددی طراحی و شبیه‌سازی شده است. به‌منظور ایجاد سناریوهای واقع‌بینانه، حرکت خودروها با الگوهای متفاوت تعریف شده است. خودروها محدوده سرعت متفاوتی دارند و مسیرهای متفاوتی را طی می‌کنند که به تغییر مکرر در اعضای خوشه و CH منجر می‌شود و این اطمینان را ایجاد می‌کند که اعضای خوشه و CH همیشه یکسان نیستند و ساختار خوشه همان‌طور که در دنیای واقعی اتفاق می‌افتد، تغییر می‌کند. این فرض به ارزیابی واقعی روش پیشنهادی کمک می‌کند.

در این بخش، عملکرد روش پیشنهادی با استفاده از شبیه‌سازهای SUMO و NS-3 ارزیابی می‌شود. SUMO یک ابزار شبیه‌ساز متن باز است که برای ثبت جزئیات حرکت وسایل نقلیه در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند استفاده می‌شود [۵].

(ب) *(الف)*

شکل ۳. تصاویر سناریوی محیط شبیه‌سازی (تصویر الف: نقشه منطقه خیابان آزادی تهران، تصویر ب: نقشه ساده‌شده شبکه مسیر در SUMO)

با توجه به شکل ۳، سناریوی شبیه‌سازی بر اساس نقشه واقعی بخشی از خیابان‌های شهر تهران در نظر گرفته شده است. برای استخراج اطلاعات منطقه یادشده از سایت آنلاین OpenStreetMap استفاده شد [۴۱]؛ سپس با استفاده از SUMO، حرکت وسایل نقلیه در مسیرها و با سرعت تعیین‌شده شبیه‌سازی می‌شود. خروجی SUMO، یک فایل tcl است که توصیف کاملی از مسیر و اطلاعات حرکت خودروها را که شامل سرعت و موقعیت آن‌ها می‌شود، ثبت می‌کند. برای شبیه‌سازی عملکرد پروتکل مسیریابی، فایل tcl به‌عنوان اطلاعات ورودی به NS3 داده می‌شود.

برای ایجاد شرایط واقعی ترافیک، مدل حرکت car-following mobility model در SUMO انتخاب شد. قبل از شروع شبیه‌سازی، وسایل نقلیه به‌صورت تصادفی توزیع می‌شوند و با شروع شبیه‌سازی، وسایل نقلیه با محدوده سرعت تعیین‌شده در مسیرها شروع به حرکت می‌کنند. تصویر (ب) در شکل ۳، نمایش تصویری تبدیل Open Street Map به ترافیک زمان واقعی با استفاده از Sumo را نشان می‌دهد. پارامترهای مهم در شبیه‌سازی روش پیشنهادی در جدول ۳، ارائه شده است.

جدول ۳. پارامترهای شبیه‌سازی روش پیشنهادی

پارامترها	مقادیر
محیط شبیه‌سازی	(۲۰۰۰ × ۵) مترمربع
زمان شبیه‌سازی	۳۰۰ ثانیه
تعداد تکرار	۱۰
مدل انتشار	Two-ray Ground
مدل تحرک	Car-following model
پروتکل MAC	802.11p
نوع ترافیک	UDP
نرخ انتقال	۱۰ مگابیت بر ثانیه
پهنای باند	۱۰ مگاهرتز
تعداد خودرو	۵۰ تا ۲۵۰
محدوده انتقال	۱۰۰ تا ۳۰۰ متر
محدوده سرعت خودروها	۱۰ تا ۵۰ کیلومتر بر ساعت
حداکثر سرعت مجاز	۷۰ کیلومتر بر ساعت
اندازه بسته	۲۰۰ کیلوبایت
دوره زمانی بسته Hello	۳۰۰ میلی‌ثانیه

معیارهای عملکرد. معیارهای زیر برای بررسی عملکرد روش پیشنهادی استفاده شده است:
۱. سربار خوشه‌بندی: به میزان ارسال پیام‌های کنترلی برای مدیریت خوشه اطلاق می‌شود. سربار کنترلی نشان‌دهنده درصد بسته‌های کنترلی به کل بسته‌های منتقل‌شده در خوشه است و به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$Overhead = \frac{\sum(Control\ Packets)}{\sum(Control\ Packets) + \sum(Data\ Packets)}$$ رابطه (۱۱)

۲. زمان پایداری سرخوشه: مدت‌زمانی است که یک خودرو، نقش CH را به عهده دارد.
۳. تعداد تغییرات خوشه: پایداری یک خوشه با تعیین تعداد دفعاتی که هر وسیله نقلیه حالت خود را در یک خوشه تغییر می‌دهد، ارزیابی می‌شود. تغییرات کمتر در نقش اعضای خوشه نشان‌دهنده عملکرد بهتر روش پیشنهادی است.
۴. نسبت تحویل بسته: درصد بسته‌هایی است که با موفقیت به مقصد تحویل داده شده است:

$$PDR = \frac{\sum(Number\ of\ received\ packets)}{\sum(Number\ of\ sent\ packets)} * 100$$ رابطه (۱۲)

در این پژوهش PDR نشان‌دهنده انتقال موفقیت‌آمیز اطلاعات از خودروی مبدأ (به‌عنوان یک عضو خوشه) به CH و سپس از طریق CH به خودروی مقصد است.

۵. تأخیر: متوسط زمان لازم برای ارسال یک بسته از یک عضو خوشه به خودروی مقصد است و به از رابطه ۱۳، محاسبه می‌شود:

$$End\ to\ End\ Delay = \frac{\sum(arrivetime - sendtime)}{\sum(Number\ of\ sent\ messages)}$$ رابطه (۱۳)

نتایج شبیه‌سازی. در این بخش، عملکرد روش پیشنهادی با چندین روش مطرح اخیر موردبررسی قرار می‌گیرد. الگوریتم‌هایی که برای مقایسه انتخاب شده‌اند، روش‌های Threshold based، MCA-V2I و Cellular-5G هستند و سه ارزیابی به شرح زیر صورت گرفته است [۲۶، ۲۹، ۲]:

۱. تغییر چگالی خودرو در مسیر به‌صورت طیفی از پراکنده تا متراکم: در طول و عرض مشخص‌شده برای شبیه‌سازی، تعداد خودروهای مسیر از ۵۰ تا ۲۵۰ افزایش می‌یابد و آثار آن بررسی و تحلیل می‌شود؛

۲. تأثیر تغییر سرعت خودروها: سرعت خودروها از ۱۰ تا ۵۰ کیلومتر بر ساعت افزایش می‌یابد و تأثیرات آن ارزیابی می‌شود؛

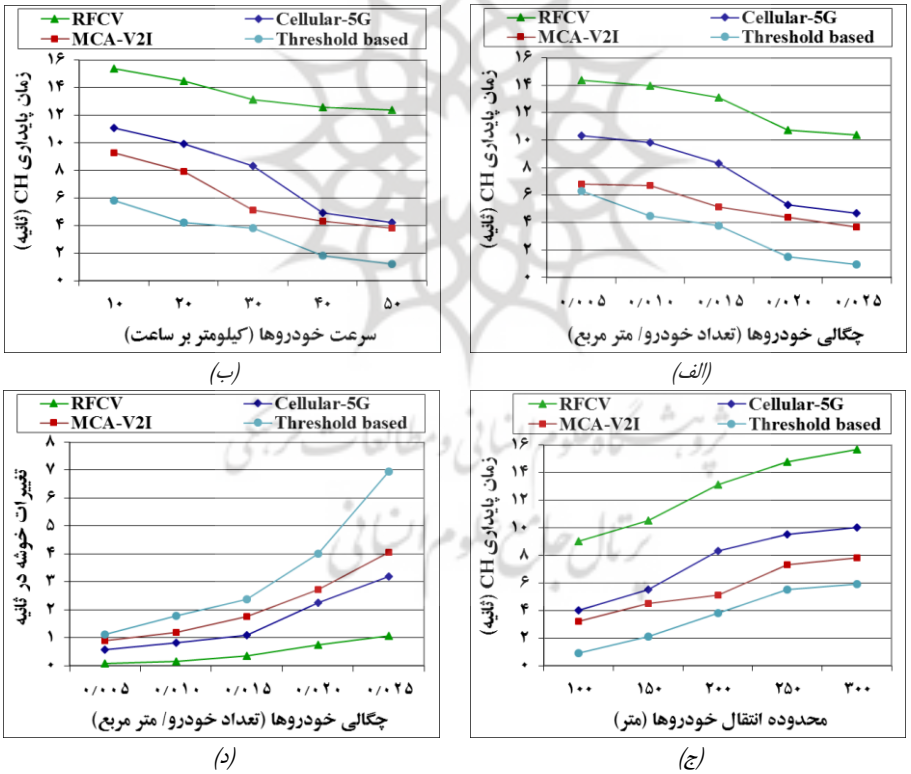
۳. تغییر محدوده انتقال خودروها از ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر: محدوده انتقال خودروها از ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر تغییر می‌یابد تا اثر آن بر کیفیت خوشه‌بندی روش‌های موردمطالعه مشخص شود.

نتایج ارزیابی انجام‌شده با سه متغیر بالا، در پنج معیار عملکردی شامل «سربار خوشه‌بندی»، «زمان پایداری سرخوشه»، «تعداد تغییرات خوشه»، «نسبت تحویل بسته» و «میانگین تأخیر انتها به انتها» به شرح زیر بیان می‌شود:

زمان پایداری CH. بهبود زمان پایداری CH نمایانگر تغییر کمتر در ساختار خوشه و درنتیجه بهبود پایداری خوشه است. در اینترنت وسایل نقلیه، معیار «زمان پایداری CH» نشان‌دهنده میزان پایداری و قابلیت اطمینان روش پیشنهادی است؛ زیرا انتخاب‌های مجدد CH، تعداد بسته‌های کنترلی را افزایش می‌دهد و باعث افزایش تأخیر و کاهش PDR می‌شود.

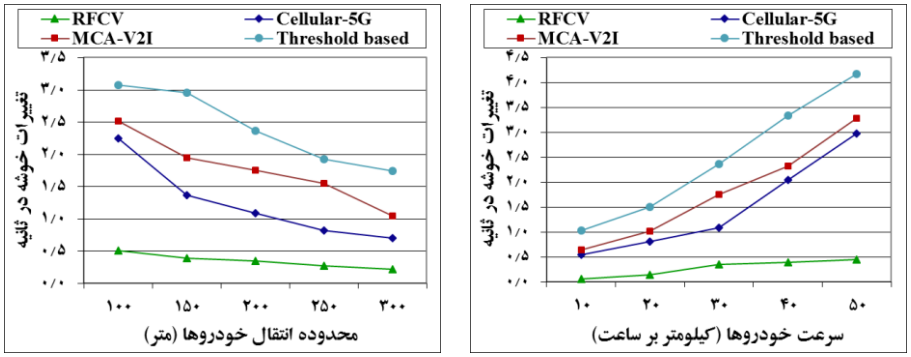
میزان پایداری CH با تغییر سه عامل چگالی، سرعت و محدوده انتقال وسایل نقلیه در نمودارهای الف، ب و ج در شکل ۴، بررسی شده و RFCV با سه روش دیگر مقایسه شده است. تجزیه‌وتحلیل‌ها نشان می‌دهد که چگالی و همچنین سرعت خودروهای مسیر با زمان پایداری CH نسبت معکوس دارد.

هنگامی که چگالی خودروها افزایش می‌یابد، مدت‌زمان پایداری CH در روش Threshold based به ۰/۹۸ ثانیه می‌رسد و در زمان افزایش سرعت، به میزان حداقلی ۱/۲ ثانیه می‌رسد. برای دو روش دیگر یعنی MCA-V2I و Cellular-5G نیز میزان پایداری در شرایط چگالی و سرعت بالای خودروها بین ۳/۷ تا ۴/۴۷ ثانیه است. دلیل اصلی در این است که این روش‌ها با هدف پایداری و قابلیت اطمینان طراحی نشده‌اند و تغییرات مکرر CH در سرعت و چگالی بالا باعث خوشه‌بندی مجدد می‌شود و پایداری خوشه در این روش‌ها کاهش می‌یابد. در مقابل، در RFCV، پایداری CH حتی در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت، بیش از ۱۲ ثانیه حفظ می‌شود. این پایداری در زمانی که چگالی خودروها به حداکثر می‌رسد نیز اختلافی بیش از دو برابر با روش‌های قبلی دارد. در نمودار ج شکل ۴، مشخص می‌شود که با افزایش محدوده انتقال خودروها، اتصال بین آن‌ها بیشتر می‌شود و پایداری خوشه نیز افزایش می‌یابد. میزان این پایداری در روش RFCV از سایر روش‌ها بالاتر است.



(الف) (ب)

(ج) (د)



(ه) (و)

شکل ۴. نمودارهای روند پایداری CH، با تغییر چگالی (الف)، سرعت (ب) و محدوده انتقال (ج) – نمودارهای روند تغییرات خوشه، با تغییر چگالی (د)، سرعت (ه) و محدوده انتقال (و)

میزان تغییرات خوشه. بررسی میزان تغییرات خوشه برای ارزیابی کارایی روش خوشه‌بندی استفاده می‌شود. تغییرات کمتر در اعضای خوشه نشان‌دهنده عملکرد بهتر خوشه‌بندی و طول عمر بالاتر برای اعضا و سرخوشه است.

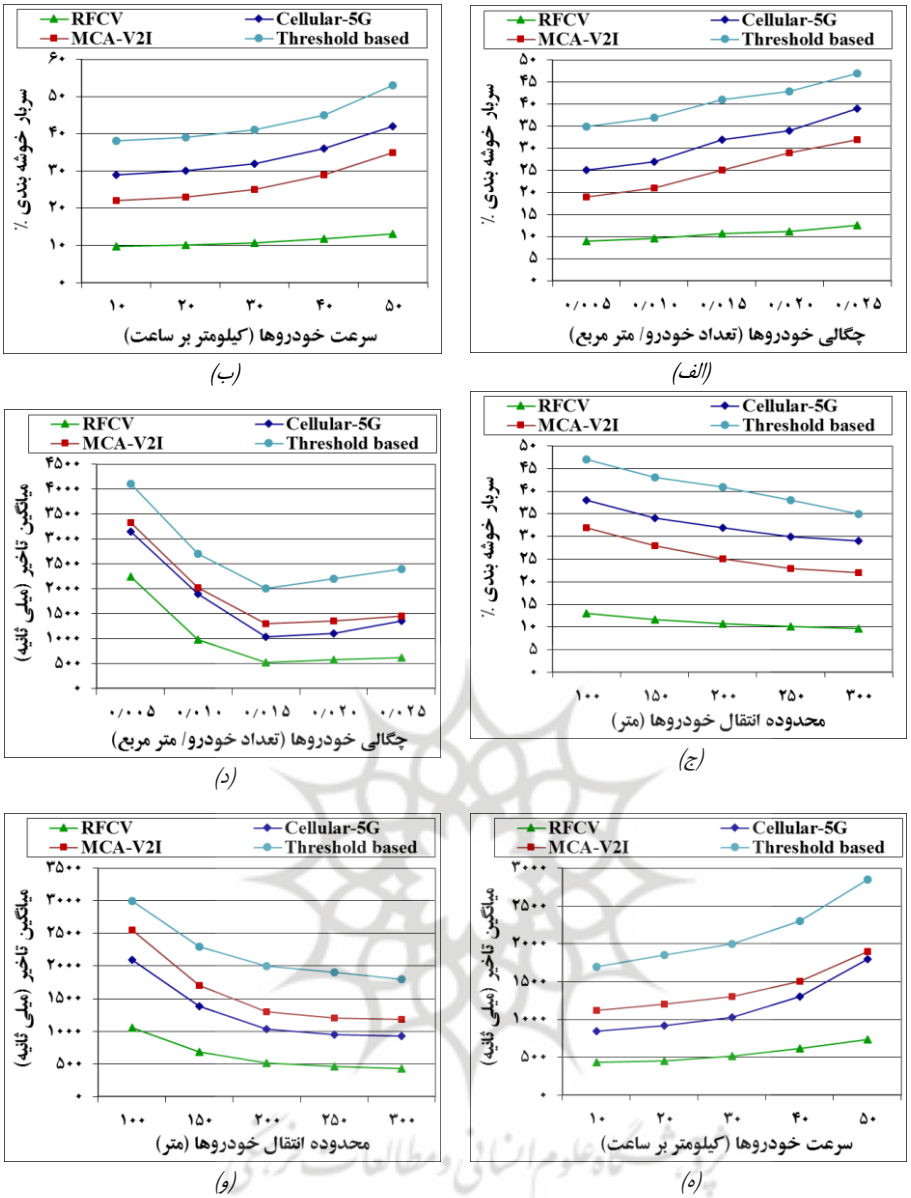
در نمودارهای د و ه در شکل ۴، میزان تغییرات خوشه با افزایش چگالی و سرعت خودروها ارائه شده است. اگر CH و یا هر یک از اعضای خوشه تغییر کند، به‌عنوان یک تغییر در واحد زمان محاسبه می‌شود. همان‌طور که مشخص است، با افزایش چگالی و سرعت خودروها، احتمال تغییر اعضای خوشه و CH بیشتر می‌شود. در نمودارهای د و ه، میزان تغییرات خوشه برای روش‌های Cellular 5G، MCA-V2I و Threshold based سیر صعودی داشته است؛ اما در RFCV بسیار کمتر از سه روش دیگر است. نقطه تمایز دیگر در این است که در RFCV، روند صعودی تغییرات خوشه دارای شتاب کمتری است و با افزایش سرعت و چگالی خودروها، تغییر ناگهانی و تغییرات زیاد در اعضای خوشه رخ نخواهد داد. علت پایداری متمایز RFCV نسبت به سایر روش‌ها را باید در معیارهای تشکیل خوشه و نحوه انتخاب CH جست‌وجو کرد. در نمودار (و) در شکل ۴، با افزایش محدوده انتقال خودروها و افزایش میزان اتصال بین آن‌ها ثبات سرخوشه و اعضای آن بیشتر می‌شود و تغییرات خوشه روند نزولی دارد.

سربار خوشه‌بندی. در نمودارهای الف، ب و ج در شکل ۵، میزان سربار خوشه‌بندی با تغییر سه عامل چگالی، سرعت و محدوده انتقال وسایل نقلیه بررسی شده است. تجزیه‌وتحلیل نشان می‌دهد که چگالی و سرعت خودروهای مسیر با میزان سربار خوشه‌بندی نسبت مستقیم دارد؛ ولی افزایش محدوده انتقال به کاهش سربار خوشه‌بندی منجر می‌شود.

در این شبیه‌سازی، نسبت تعداد بسته‌های کنترلی که در مرحله تشکیل و نگهداری خوشه تولید می‌شود به تعداد کل بسته‌ها به‌عنوان «سربار خوشه‌بندی» تعریف می‌شود. نمودار الف شکل ۵، میزان تغییر سربار خوشه‌بندی را در شرایط تغییر چگالی خودروها نشان می‌دهد. با افزایش تعداد خودروها، تعداد اعضای خوشه‌ها نیز افزایش می‌یابد و درنتیجه پیام‌های کنترلی بیشتری در خوشه تبادل می‌شود. بااین‌حال نتایج مقایسه، بهبود قابل‌ملاحظه‌ای از کنترل سربار را توسط RFCV نشان می‌دهد. علت این بهبود، این است که در RFCV برای انتشار وزن خودروها از پیام‌های مجزا استفاده نشده و از همان پیام‌های دوره‌ای Hello استفاده می‌شود؛ درضمن پیام‌های مربوط به تشکیل و نگهداری خوشه نیز به میزان حداقلی ایجاد و منتشر می‌شوند. سربار کنترلی سایر روش‌ها به میزان زیادی بالاتر از RFCV است و دلیل آن، نیازمندی به ارسال پیام‌های کنترلی به‌صورتی منظم به‌دلیل نیاز به مدیریت خوشه و انتخاب سرخوشه است. افزایش سرعت خودروها و ورود آن‌ها به محدوده خوشه جدید و یا خروج آن‌ها از محدوده خوشه قبلی، نیازمندی به انتشار بسته‌های کنترلی برای انتخاب CH جدید را بیشتر می‌کند؛ بنابراین سربار کنترلی با افزایش سرعت خودروها بیشتر می‌شود. در روش Cellular-5G، فقط خودروهایی که در مسیر آتی با CH تطابق حرکتی دارند، عضو خوشه می‌شوند؛ بنابراین بسیاری از خودروهایی که در مجاورت CH هستند، ولی مسیر آینده آن‌ها با یکدیگر تطابق ندارد، در خوشه شرکت داده نمی‌شوند. این موضوع، علی‌رغم ایجاد پایداری اولیه، درنهایت به تشکیل خوشه‌های مجزا و متعدد منجر می‌شود و ترافیک شبکه و همچنین سربار خوشه‌بندی را افزایش می‌دهد.

در نمودار ب شکل ۵ که میزان سربار خوشه‌بندی را با تغییر سرعت خودروها نشان می‌دهد، میزان سربار کنترلی RFCV از سایر روش‌ها کمتر است؛ زیرا با توجه به انتخاب سرخوشه بر مبنای معیارهای پایداری، احتمال تغییر جهت، کاهش ناگهانی سرعت و یا خروج از خوشه کمتر است و همین موضوع باعث کاهش پیام‌های کنترلی مربوط به نگهداری خوشه در RFCV می‌شود. با افزایش محدوده انتقال خودروها در نمودار ج شکل ۵، میزان اتصال خودروها بیشتر شده و ثبات خوشه‌ها بیشتر می‌شود؛ درنتیجه سربار کنترلی در همه روش‌ها روند نزولی دارد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

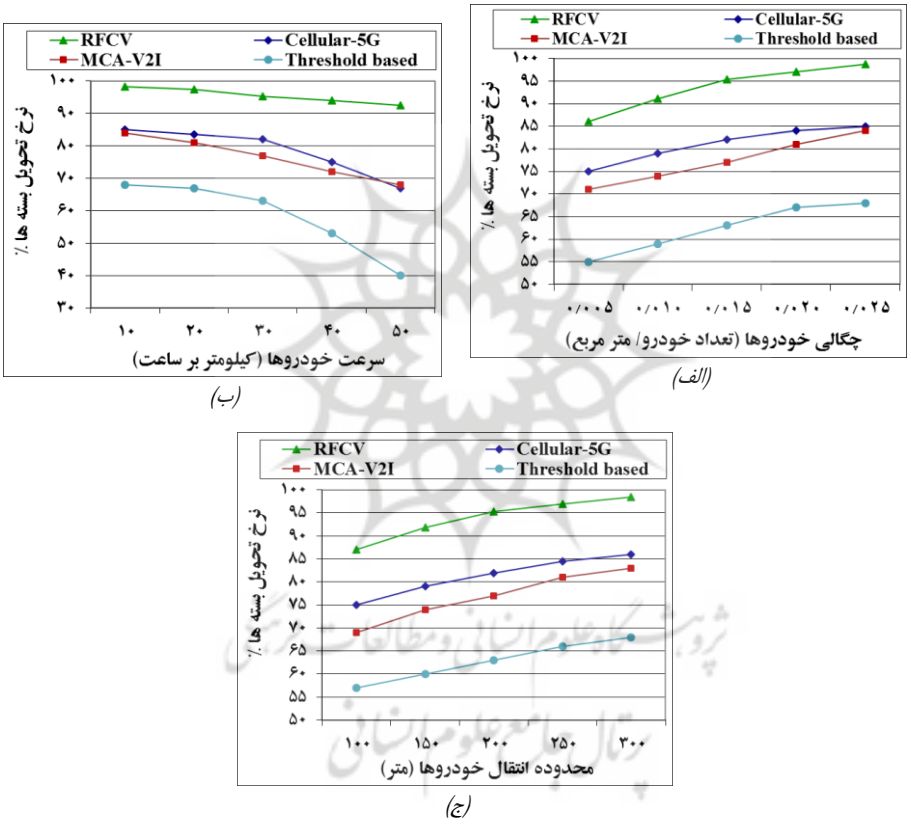


شکل ۵. نمودارهای روند تغییر سربار خوشه‌بندی با تغییر چگالی (الف)، سرعت (ب) و محدوده انتقال (ج) – نمودارهای تغییرات میانگین تأخیر با تغییر چگالی (د)، سرعت (ه) و محدوده انتقال (و)

میانگین تأخیر. تأخیر معادل زمانی تعریف می‌شود که بسته داده از خودروی مبدأ به مقصد برسد و در این تحلیل، تأخیر مسیریابی بین خودروی مبدأ در یک خوشه و خودروی مقصد در خوشه دیگر بررسی می‌شود. نمودارهای د، ه و «و» در شکل ۵، میانگین تأخیر (بر حسب

میلی‌ثانیه) در RFCV و سایر روش‌ها را به‌عنوان تابعی از چگالی خودروها، سرعت و محدوده انتقال آن‌ها نشان می‌دهند. تأخیر تحویل پیام با تعداد وسایل نقلیه نسبت معکوس دارد. تراکم بالای وسیله نقلیه، اتصال شبکه را بهبود می‌بخشد و بنابراین شانس بیشتری برای ارسال پیام با تأخیر کمتر وجود دارد؛ البته در زمانی که تراکم خودروها از حد میانه رو به افزایش می‌گذارد، به‌علت افزایش ازدحام و همچنین افزایش گام‌های مسیر، میزان تأخیر روند افزایش ملایمی دارد.

در این شبیه‌سازی، RFCV در مقایسه با سایر روش‌ها، کمترین تأخیر تحویل پیام را در هر سه نمودار نشان می‌دهد. تأخیر حداقلی انتقال در RFCV نشان می‌دهد که روش‌های موردمقایسه، قادر به دستیابی به عملکرد مطلوب برای انتقال سریع‌تر داده‌ها نیستند و به‌علت پایداری کمتر، تغییر اعضای خوشه به‌صورتی مکرر انجام شده و به تأخیر بیشتری در انتقال داده‌ها منجر می‌شود.



(الف)

(ب)

(ج)

شکل ۶. نمودارهای روند تغییر نسبت تحویل بسته‌ها با تغییر چگالی (الف)، سرعت (ب) و محدوده انتقال (ج)

نسبت تحویل بسته‌ها. نسبت تحویل بسته نشان‌دهنده درصد بسته‌هایی است که با موفقیت از خودروی مبدأ به مقصد تحویل داده شده‌اند. در نمودارهای شکل ۶، تحلیل نسبت تحویل بسته‌ها با تغییر سه عامل چگالی، سرعت و محدوده انتقال وسایل نقلیه انجام شده است. تجزیه‌وتحلیل نشان می‌دهد که تغییرات چگالی و محدوده انتقال خودروهای مسیر با نسبت تحویل بسته، نسبت مستقیم دارند؛ ولی افزایش سرعت خودروها به کاهش نسبت تحویل بسته‌ها منجر می‌شود.

همان‌طور که در نمودارهای شکل ۶، مشخص است، RFCV نسبت تحویل بسته را در سطح بالاتری از سایر روش‌ها حفظ می‌کند. هنگامی که سرعت خودروها به ۵۰ کیلومتر بر ساعت می‌رسد، نسبت تحویل بسته توسط RFCV، معادل ۹۲/۵ درص است؛ درحالی‌که نسبت تحویل بسته در همین سرعت توسط روش MCA-V2I، ۶۸ درصد است؛ به این معنا که در این روش، ۳۲ درصد از بسته‌های ارسالی حذف می‌شوند. به همین ترتیب هنگامی که چگالی خودروها ۰/۰۰۵ است، ۸۶ درصد از بسته‌ها با استفاده از روش پیشنهادی با موفقیت منتقل می‌شوند؛ درحالی‌که تنها ۷۵ درصد از بسته‌ها با استفاده از Cellular-5G با موفقیت منتقل می‌شوند. افزایش تعداد خودروها به اتصال بیشتر و افزایش نسبت تحویل بسته منجر می‌شود. نسبت تحویل بسته در روش Threshold Based از سایر روش‌ها پایین‌تر بوده و انتقال داده‌ها با اتلاف بیشتر بسته‌های اطلاعاتی همراه است. تشکیل خوشه‌های پایدارتر در RFCV به میزان زیادی به بهبود نسبت ارسال بسته‌ها منجر شده و بسته‌ها به‌صورت میانگین به نسبت ۹۵/۳ درصد با موفقیت منتقل می‌شوند.

(ب) (الف)

شکل ۷. تصاویر سناریوی شبیه‌سازی‌شده بزرگراهی (تصویر الف: نقشه تقاطع اتوبان‌های همت، حکیم، یادگار و شیخ فضل‌الله در تهران، تصویر ب: نقشه ساده‌شده شبکه بزرگراهی در SUMO)

بررسی تطبیقی کارایی روش‌ها در سناریوی بزرگراهی. برای سنجش تعمیم‌پذیری روش پیشنهادی، شبیه‌سازی مشابهی برای محیط بزرگراهی انجام شده است که برای پیشگیری از تفصیل بیشتر، صرفاً نتایج کلی آن ارائه می‌شود. برای شبیه‌سازی سناریوی بزرگراهی، مطابق

شکل ۷، نقشه واقعی بخشی از بزرگراه‌های شهر تهران در نظر گرفته شده است. پارامترهای شبیه‌سازی مطابق جدول ۲ است؛ ولی محدوده شبیه‌سازی معادل ۵۰۰۰ × ۱۰ مترمربع و سرعت خودروها بین ۸۰ تا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت تنظیم شده است.

جدول ۴، یک مقایسه تطبیقی بین روش پیشنهادی RFCV و رقبای نزدیک‌تر به آن را ارائه می‌دهد. برای خلاصه‌سازی نتایج، اعداد ارائه‌شده در این جدول صرفاً برای چگالی ۰/۰۰۳ خودرو بر مترمربع، سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت و محدوده انتقال ۲۰۰ متر ارائه شده است.

همان‌طور که در جدول ۳، مشخص است، RFCV در سناریوی بزرگراهی و در هر یک از معیارهای عملکردی، به نتایج بهتری دست یافته است. علت اصلی عدم‌دستیابی به عملکرد مطلوب در روش‌های Cellular-5G و MCA-V2I مربوط به میزان پایداری خوشه است؛ بنابراین استفاده از معیارهای ترکیبی مبتنی بر قابلیت اطمینان، یک فرآیند مؤثر در راستای افزایش پایداری است و کیفیت عملکردی خوشه‌ها را بهبود می‌بخشد.

جدول ۳. تحلیل تطبیقی با مقادیر میانه در سناریوی بزرگراهی

معیارهای کارایی	RFCV	Cellular-5G	MCA-V2I
پایداری CH (ثانیه)	۸/۸۹	۶/۳	۳/۱۲
تغییرات خوشه در ثانیه	۰/۶۴	۱/۴۸	۱/۹۶
سربار خوشه‌بندی (درصد)	۱۲	۳۷	۳۰
تأخیر (میلی‌ثانیه)	۵۴۰	۱۲۳۰	۱۵۴۰
نسبت تحویل بسته‌ها (درصد)	۹۳	۷۹	۷۴

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش برای بهبود قابلیت اطمینان در ارسال پیام و پایداری خوشه‌بندی در IoV، یک مدل خوشه‌بندی منعطف و مستقل از زیرساخت به نام RFCV ارائه شد. این مدل به وسایل نقلیه هم‌جوار، این امکان را می‌دهد که با استفاده از چهار معیار مربوط به افزایش پایداری، شایسته‌ترین خودرو را به‌عنوان CH انتخاب کرده و از تعدد ایجاد خوشه و ارسال پیام‌های کنترلی غیرضروری اجتناب کنند. با هدف بررسی تعمیم‌پذیری، ارزیابی RFCV با شبیه‌سازی گسترده در NS3 و SUMO انجام شده است. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که RFCV برخلاف اغلب روش‌ها، صرفاً در یک سناریوی خاص کاربردپذیر نیست و با توجه به انعطاف‌پذیری در دسترسی به زیرساخت هوشمند، در بخش‌های مختلف شبکه شهری و بزرگراهی قابل‌به‌کارگیری است. نوآوری‌های اصلی این پژوهش به شرح زیر ارائه می‌شود:

– با توجه به سبک زندگی شهری، به‌عنوان نمونه برای رفت‌وآمد به محل کار و منزل، تردد خودروها در مسیرهای خاص و در زمان‌های مشخصی به‌صورت روزانه تکرار می‌شود. در این پژوهش از این شرایط برای تشخیص خودروهای ادامه‌دهنده مسیر در جهت تشکیل خوشه‌های پایدارتر استفاده شد؛

– معیار دیگر برای انتخاب سرخوشه، «کمترین فاصله سرعتی با میانگین هارمونیک سرعت خودروهای همسایه» است. تفاوت روش پیشنهادی با کارهای قبلی این است که به‌جای استفاده از میانگین حسابی یا هندسی، از میانگین هارمونیک استفاده شده است که عدد دقیق‌تری را به‌عنوان میانگین سرعت محاسبه می‌کند؛

– به‌جای استفاده از معیار «حداکثر تعداد همسایگان» برای انتخاب سرخوشه، در این پژوهش با مدنظر قراردادن روند کاهش یا افزایش قدرت سیگنال پیام‌های دوره‌ای، خودروهایی که به‌علت تفاوت سرعت یا مسیر، به‌صورت گذری در کنار خودرو قرار می‌گیرند و به‌زودی از آن دور می‌شوند، متمایز شده و صرفاً همسایگان مطمئن در محاسبات به‌کار گرفته شد؛

– کیفیت عملکرد هر خودرو در مسئولیت‌های قبلی به‌عنوان «سرخوشه، سرخوشه جایگزین و یا عضو خوشه»، به‌عنوان یک معیار جدید برای سنجش اعتبار خودرو در نظر گرفته شده است.

با به‌کارگیری چهار معیار بالا، کاهش تأخیر و بهبود نسبت تحویل بسته یکی از دستاوردهای RFCV است. مدیریت خوشه به‌وسیله یک CH پایدار، به‌علت کاهش تبادل پیام بین خودروها، باعث کاهش تأخیر می‌شود و دریافت بسته‌ها توسط مقصد در نزدیک‌ترین زمان نسبت به زمان واقعی میسر خواهد بود. نمودارهای د، ه و «و» در شکل ۵، تأییدکننده همین مطلب هستند. ارتباطات پایدارتر بین CH و اعضا باعث کاهش برخورد داده‌ها می‌شود و ظرفیت پهنای باند را افزایش می‌دهد. مطابق نمودارهای الف، ب و ج در شکل ۶، در RFCV، PDR بهتری برای سیستم فراهم می‌شود. از دستاوردهای دیگر RFCV، رفع چالش سربار کنترلی و تعدد خوشه‌ها است. به‌کارگیری معیارهای پایداری بر کاهش سربارهای کنترلی تأثیر مستقیم دارد و برخلاف روش ارائه شده توسط القمدی[1] (۲۰۲۰)، پذیرش خودروهای هم‌جوار برای عضویت در خوشه نیز به جلوگیری از ایجاد خوشه‌های متعدد منجر می‌شود [۲]. برای سنجش جامعیت مدل پیشنهادی لازم است که بهبود یکی از معیارها مانند پایداری به افت سایر معیارهای کیفی منجر نشود؛ بنابراین بازدهی RFCV با سه معیار کیفی دیگر با عنوان «سربار خوشه‌بندی»، «میانگین تأخیر» و «نرخ ارسال بسته‌ها» نیز بررسی شده و نتایج ارزیابی نشان‌دهنده برتری و جامعیت آن است.

از نتایج کاربردی این پژوهش در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند می‌توان به قابلیت ارسال پیام به‌صورتی مطمئن و نزدیک به زمان واقعی اشاره کرد که در شرایط بحرانی بسیار ارزنده

1. Alghamdi

است و در سلامتی و بهبود زندگی شهروندان نقش مثبتی ایفا می‌کند؛ درضمن معیارهای پایداری ارائه‌شده در این پژوهش می‌توانند توسط شرکت‌های صنعتی برای بهبود کیفیت ابزارهای سیستم حمل‌ونقل هوشمند به‌کار گرفته شوند.

با توجه به اینکه یکی از دستاوردهای اصلی این پژوهش، افزایش قابلیت اطمینان و کاهش تأخیر در تبادل پیام‌های بحرانی است، پیشنهاد مدیریتی مبتنی بر دستاوردهای اصلی این پژوهش، به‌کارگیری مدل ارائه‌شده در سامانه‌های مدیریت ترافیک شهری است که می‌تواند به‌صورتی ویژه به بهبود کیفیت تبادل پیام در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند در شرایط خاص ترافیکی و بهبود سیستم مدیریت ترافیک منجر شود.

پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی. موارد زیر برای انجام پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود:

– امتیازبندی خودروها از روی سابقه عملکرد آن‌ها در خوشه‌های قبلی و اعلام سوابق مثبت آن برای رانندگان خودروها در اپلیکیشن‌های مدیریت ترافیک شهری می‌تواند یکی از موضوعات پژوهشی آتی باشد. این امر می‌تواند تأثیرات روانی در رعایت بهتر قوانین رانندگی و بهبود شرایط ترافیکی داشته باشد؛

– افزایش امنیت در فرایند وزن‌دهی به خودروها و انتخاب CH با استفاده از بلاک‌چین نیز می‌تواند موضوع دیگری در راستای عدم‌انکار و امن‌سازی روش پیشنهادی باشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

1. Abbas, F., & Fan, P. (2018). Clustering-based reliable low-latency routing scheme using ACO method for vehicular networks. *Vehicular Communications, 12,* 66-74.
2. Alghamdi, S. A. (2020). Novel path similarity aware clustering and safety message dissemination via mobile gateway selection in cellular 5G-based V2X and D2D communication for urban environment. *Ad Hoc Networks, 103,* 102150.
3. Alsuhli, G. H., Khattab, A., & Fahmy, Y. A. (2019). Double-head clustering for resilient VANETs. *Wireless communications and mobile computing,* 2019.
4. Bao, X., Li, H., Zhao, G., Chang, L., Zhou, J., & Li, Y. (2020). Efficient clustering V2V routing based on PSO in VANETs. *Measurement, 152,* 107306.
5. Bautista, P. B., Aguiar, L. U., & Igartua, M. A. (2022). How does the traffic behavior change by using SUMO traffic generation tools. *Computer Communications, 181,* 1-13.
6. Benkerdagh, S., & Duvallet, C. (2019). Cluster-based emergency message dissemination strategy for VANET using V2V communication. *International Journal of Communication Systems, 32(5),* e3897.
7. Boussoufa-Lahlah, S., Semchedine, F., & Bouallouche-Medjkoune, L. (2018). Geographic routing protocols for Vehicular Ad hoc NETworks (VANETs): A survey. *Vehicular Communications, 11,* 20-31.
8. Cardenas, L. L., Mezher, A. M., Bautista, P. A. B., & Igartua, M. A. (2019). A probability-based multimetric routing protocol for vehicular ad hoc networks in urban scenarios. *IEEE Access, 7,* 178020-178032.
9. Chen, M., Tian, Y., Fortino, G., Zhang, J., & Humar, I. (2018). Cognitive internet of vehicles. *Computer Communications, 120,* 58-70.
10. Cheng, J., Yuan, G., Zhou, M., Gao, S., Huang, Z., & Liu, C. (2020). A connectivity-prediction-based dynamic clustering model for VANET in an urban scene. *IEEE Internet of Things Journal, 7(9),* 8410-8418.
11. Cheng, X., & Huang, B. (2019). A center-based secure and stable clustering algorithm for VANETs on highways. *Wireless communications and mobile computing,* 2019.
12. Cooper, C., Franklin, D., Ros, M., Safaei, F., & Abolhasan, M. (2016). A comparative survey of VANET clustering techniques. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 19(1),* 657-681.
13. Dutta, A. K., Elhoseny, M., Dahiya, V., & Shankar, K. (2020). An efficient hierarchical clustering protocol for multihop Internet of vehicles communication. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 31(5),* e3690.
14. Eslaminia, A., & Azimi, P. (2020). Solving the Electric Vehicle Routing Problem Considering the Vehicle Volume Limitation Using a Simulated Annealing Algorithm. *Journal of Industrial Management Perspective, 9(4),* 165-188. (in Persian)
15. Ezzat, M., Sakr, M., Elgohary, R., & Khalifa, M. E. (2018). Building road segments and detecting turns from gps tracks. *Journal of computational science, 29,* 81-93.
16. 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. *Journal of Systems and Software, 165,* 110561.

17. Joshua, C. J., Duraisamy, R., & Varadarajan, V. (2019). A reputation based weighted clustering protocol in VANET: A multi-objective firefly approach. *Mobile Networks and Applications, 24(4),* 1199-1209.
18. Kamakshi, S., & Shankar Sriram, V. S. (2019). Plummeting broadcast storm problem in highways by clustering vehicles using dominating set and set cover. *Sensors, 19(9),* 2191.
19. Khakpour, S., Pazzi, R. W., & El-Khatib, K. (2017). Using clustering for target tracking in vehicular ad hoc networks. *Vehicular communications, 9,* 83-96.
20. Khan, M. F., Yau, K. L. A., Noor, R. M., & Imran, M. A. (2020). Survey and taxonomy of clustering algorithms in 5G. *Journal of Network and Computer Applications, 154,* 102539.
21. Khan, Z., Fan, P., Fang, S., & Abbas, F. (2019). An unsupervised cluster-based VANET-oriented evolving graph (CVoEG) model and associated reliable routing scheme. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 20(10),* 3844-3859.
22. Mirzapour Al-e-hashem, S. M. J., Amoozad Khalili, H., & Khazaei Kouhpar, R. (2022). An Ambulance Routing Problem in Organ Transplant Supply Chain Considering Traffic Congestion. *Journal of Industrial Management Perspective, 12(1),* 261-291. (in Persian)
23. Pierro, E., D'Angola, A., & Carbone, G. (2021). Road vehicles travelling with time-dependent speed: theoretical study on the directional stability. *Vehicle system dynamics, 59(8),* 1214-1226.
24. Qi, W., Landfeldt, B., Song, Q., Guo, L., & Jamalipour, A. (2020). Traffic differentiated clustering routing in DSRC and C-V2X hybrid vehicular networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology, 69(7),* 7723-7734.
25. Qureshi, K. N., Abdullah, A. H., Bashir, F., Iqbal, S., & Awan, K. M. (2018). Cluster-based data dissemination, cluster head formation under sparse, and dense traffic conditions for vehicular ad hoc networks. *International Journal of Communication Systems, 31(8),* e3533.
26. Rawashdeh, Z. Y., & Mahmud, S. M. (2012). A novel algorithm to form stable clusters in vehicular ad hoc networks on highways. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2012,* 1-13.
27. Ren, M., Khoukhi, L., Labiod, H., Zhang, J., & Veque, V. (2017). A mobility-based scheme for dynamic clustering in vehicular ad-hoc networks (VANETs). *Vehicular Communications, 9,* 233-241.
28. Rivoirard, L., Wahl, M., Sondi, P., Berbineau, M., & Gruyer, D. (2018). Chain-Branch-Leaf: A clustering scheme for vehicular networks using only V2V communications. *Ad Hoc Networks, 68,* 70-84.
29. Senouci, O., Aliouat, Z., & Harous, S. (2019). MCA-V2I: A multi-hop clustering approach over vehicle-to-internet communication for improving VANETs performances. *Future Generation Computer Systems, 96,* 309-323.
30. Shah, A. S., Karabulut, M. A., Ilhan, H., & Tureli, U. (2020). Performance optimization of cluster-based MAC protocol for VANETs. *IEEE Access, 8,* 167731-167738.
31. Shah, S. S., Malik, A. W., Rahman, A. U., Iqbal, S., & Khan, S. U. (2019). Time barrier-based emergency message dissemination in vehicular ad-hoc networks. *IEEE Access, 7,* 16494-16503.

32. Taj, Y., & Faez, K. (2010). History Based Reliability: A novel routing metric in mobile ad hoc networks. *The 12th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, 1311-1315.
33. Taj, Y., & Faez, K. (2010). Signal strength based reliability: a novel routing metric in MANETs. *Second International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing*, 37-40.
34. Tavakkoli Moghaddam, R., Mossadeghkhah, M., & Hassanpour, H. (2021). Developing a Vehicle Routing Model Considering Effective Criteria for Supporting of Military Units. *Journal of Industrial Management Perspective, 11(4)*, 167-195. (in Persian)
35. Ullah, S., Abbas, G., Waqas, M., Abbas, Z. H., Tu, S., & Hameed, I. A. (2021). EEMDS: An effective emergency message dissemination scheme for urban VANETs. *Sensors, 21(5)*, 1588.
36. Wang, C., Zhang, L., Li, Z., & Jiang, C. (2018). SDCoR: software defined cognitive routing for internet of vehicles. *IEEE Internet of Things Journal, 5(5)*, 3513-3520.
37. Wang, X., Ning, Z., Hu, X., Ngai, E. C. H., Wang, L., Hu, B., & Kwok, R. Y. (2018). A city-wide real-time traffic management system: Enabling crowdsensing in social Internet of vehicles. *IEEE Communications Magazine, 56(9)*, 19-25.
38. Wang, X., Ning, Z., Hu, X., Wang, L., Hu, B., Cheng, J., & Leung, V. C. (2018). Optimizing content dissemination for real-time traffic management in large-scale internet of vehicle systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology, 68(2)*, 1093-1105.
39. Yao, L., Wang, J., Wang, X., Chen, A., & Wang, Y. (2017). V2X routing in a VANET based on the hidden Markov model. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 19(3)*, 889-899.
40. Zhang, D., Ge, H., Zhang, T., Cui, Y. Y., Liu, X., & Mao, G. (2018). New multi-hop clustering algorithm for vehicular ad hoc networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 20(4)*, 1517-1530.
41. Zhou, S., Li, D., Tang, Q., Fu, Y., Guo, C., & Chen, X. (2021). Multiple intersection selection routing protocol based on road section connectivity probability for urban VANETs. *Computer Communications, 177*, 255-264.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی