

# ارائه یک روش خوشه‌بندی پویای چندسطحی وزن‌دار آگاه بر شاخص‌دهی فضایی در شبکه‌های میان‌خودرویی

رضا رسول‌زاده دارآباد<sup>۱</sup>، کارشناسی ارشد، سید امیر اصغری توجائی<sup>۲\*</sup>، دانشیار، محمدرضا بینش مروستی<sup>۳</sup>، دانشیار، کیمیا شاه بختی<sup>۴\*</sup>،  
دانشجو کارشناسی ارشد

<sup>۱</sup>گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران، rezarasoulzade@khu.ac.ir

<sup>۲</sup>گروه علوم و فناوری داده، دانشکده مهندسی سامانه‌های هوشمند، دانشگاه تهران، تهران، ایران، s.a.asghari@ut.ac.ir

<sup>۳</sup>گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران، marvasti@khu.ac.ir

<sup>۴</sup>گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران، kimiyashahbakhti@khu.ac.ir

چکیده: شبکه‌های میان‌خودرویی، یکی از فناوری‌های در حال رشد است که مدیریت ایمن و کارآمد ترافیک جاده را تضمین می‌کند. مدیریت تحرک چالش اصلی در شبکه‌های میان‌خودرویی است. بنابراین، پروتکل خوشه‌بندی تطبیقی و پایدار یک مسئله حیاتی در فناوری شبکه‌های میان‌خودرویی است. شبکه‌های میان‌خودرویی مبتنی بر خوشه‌بندی روزبه‌روز توجه بیشتری را به خود جلب می‌کند. متغیرهای اصلی که در تشکیل پروتکل‌های خوشه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند، سرعت، فاصله و جهت حرکت می‌باشند. اگرچه در روش‌های مختلف، متغیرهای دیگری از قبیل میزان اطمینان، طول عمر، مقدار شباهت، کیفیت پیوند ارتباطی، نرخ نویز سیگنال و نرخ انتقال بسته در کنار سه مؤلفه اصلی به کار گرفته شده‌اند. در این مقاله قصد بر این است که با به کارگیری روش‌های مختلف و تکنیک‌های ارائه شده، مواردی از قبیل تعداد خوشه‌های ایجاد شده و تعداد تغییرات در سرخوشه‌ها بهبود داده شوند. هدف از بهبود این موارد، ایجاد انسجام و پایداری بیش‌تر در خوشه‌های ایجاد شده می‌باشد. در این الگوریتم با استفاده از شاخص‌دهی فضایی و بررسی موقعیت خطی که وسیله‌نقلیه از آن عبور می‌کند، تعداد خوشه‌های ایجاد شده را حداقل ۵٫۷ درصد بهبود داده شد. هم‌چنین این الگوریتم توانست بهبودی ۳٫۲ درصدی در تعداد تغییرات سرخوشه‌ها حاصل کند.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های میان‌خودرویی، خوشه‌بندی، سرخوشه، شاخص‌دهی فضایی، تغییرات سرخوشه، طول عمر

# *Dynamic Multi Level Spatially Aware Clustering with Weighted Cluster Head Selection*

---

Reza Rasoulzadeh Darabad<sup>1</sup>, Master Student, Seyyed Amir Asghari Tochaie<sup>2\*</sup>, Associative Professor, Mohammad Reza Binesh Marvasti<sup>3</sup>, Associative Professor, Kimiya Shahbakhti<sup>4\*</sup>, Master Student

<sup>1</sup> Department of Electricity and Computer, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran, rezarasoulzade@khu.ac.ir

<sup>2</sup> Department of Data Science and Technology, Faculty of Intelligent Systems, University of Tehran, Tehran, Iran, s.a.asghari@ut.ac.ir

<sup>3</sup> Department of Electricity and Computer, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran, marvasti@khu.ac.ir

<sup>4</sup> Department of Electricity and Computer, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran, kimiyashahbakhti@khu.ac.ir

**Abstract:** Vehicular Ad-hoc Networks are a growing technology that ensures safe and efficient road traffic management. Mobility management is the primary challenge in inter-vehicle networks. Therefore, an adaptive and stable clustering protocol is a crucial issue in inter-vehicle network technology. Day by day, inter-vehicle networks based on clustering are attracting more attention. The main variables used in forming clustering protocols are speed, distance, and direction of movement. However, in different methods, other variables such as confidence level, lifespan, and similarity measure, quality of communication link, signal noise rate, and packet transmission rate have been used alongside the three main components. In this method, we aim to improve aspects such as the number of clusters formed and the number of changes in cluster heads by employing various methods and techniques presented. The purpose of these improvements is to create more cohesion and stability in the formed clusters. In the proposed algorithm, Dynamic Multi Level Spatially Aware Clustering with Weighted Cluster Head Selection (DML-SAC-WCHS), we aim to improve the number of clusters formed by at least 5.7% by using spatial indexing and examining the linear position that the vehicle passes through. Additionally, we have achieved a 3.2% improvement in the number of cluster head changes.

**Keywords:** Vehicular Ad-hoc Networks, Clustering, Cluster Head, Spatial Indexing, Cluster Head Changes, Lifetime

\* Seyyed Amir Asghari, s.a.asghari@ut.ac.ir – Kimiya Shahbakhti, Kimiyashahbakhti@khu.ac.ir

## ۱. مقدمه

شبکه‌های میان‌خودرویی اشاره به یک نوع شبکه موردی بی‌سیم دارد که در آن وسایل نقلیه مختلف و دیگر دستگاه‌های متصل در یک شبکه بی‌سیم به هم مرتبط شده و اطلاعات مفیدی را رد و بدل می‌کنند. یک شبکه کوچک در لحظه ایجاد می‌شود که در آن وسایل نقلیه نقش گره‌های شبکه را بازی می‌کنند. این شبکه‌ها ویژگی‌هایی مانند خودسازمان‌دهی، خودمدیریتی، سرعت بالا، تحرک‌پذیری و توپولوژی پویای بالا دارند و در کاربردهایی نظیر ایمنی، مدیریت ترافیک و کمک به رانندگان به کار می‌روند [۱].

اطلاعات به‌دست‌آمده از این شبکه‌ها در حوزه‌های مختلفی مانند نظارت بر محیط، ناوبری هوشمند، پایش ترافیک، ایمنی حمل‌ونقل و کمک به رانندگان کاربرد دارد [۲].

هر اطلاعاتی که در یکی از این گره‌ها وجود داشته باشد به دیگر گره‌ها نیز منتقل می‌شود. به‌صورت مشابه هر گره‌ای که در حال ارسال اطلاعات می‌باشد، اطلاعاتی را از گره‌های دیگر دریافت می‌کند. بعد از دریافت این اطلاعات، گره‌ها برای تولید اطلاعات مفید از این اطلاعات دریافت‌شده کار می‌کنند و سپس دوباره این اطلاعات پردازش‌شده را منتقل می‌کنند. ارتباط بین این گره‌ها بدین‌صورت است که گره‌ها می‌توانند به‌صورت آزادانه وارد این شبکه‌ها شوند و از آن خارج شوند.

وسایل نقلیه امروزه با یکسری واحدهای روی تراشه‌ای وارد بازار می‌شوند تا به‌راحتی بتوانند به این شبکه‌ها وارد شوند و از فواید شبکه‌های میان‌خودرویی بهره‌مند شوند [۳]. یکی از اصلی‌ترین چالش‌ها در این نوع از شبکه‌ها ارتباط و مدیریت منابع می‌باشد که با پیاده‌سازی خوشه‌بندی می‌تواند بهبود یابد. خوشه‌بندی در شبکه‌های میان‌خودرویی شامل تشکیل گروه‌ها یا

خوشه‌ها بین وسایل نقلیه با هدف بهبود ارتباط، مدیریت منابع شبکه و بهبود کارایی کلی انتشار اطلاعات می‌باشد. این خوشه‌ها می‌توانند به شکلی پویا مبتنی بر الگوهای پویایی و نیازمندی‌های ارتباطی بازپیکربندی شوند تا یک شبکه انعطاف‌پذیر و انطباقی را تشکیل بدهند [۳]. درواقع خوشه‌بندی داده‌ها یک روش دسته‌بندی بدون ناظر است که به معنی گروه‌بندی داده‌ها در گروه‌هایی است که از نقطه نظرهای مشخصی، با یکدیگر شباهت دارند و فاصله بین آن‌ها حداقل است. قابل ذکر است داده‌ها در خوشه‌های متفاوت خصوصیات متفاوتی با یکدیگر دارند. [۴]-[۶]

شبکه‌های میان‌خودرویی<sup>۱</sup> یکی از فناوری‌های نوظهور و نام‌آشنا در سیستم‌های حمل و نقل هوشمند<sup>۲</sup> هستند. برنامه‌های ایمنی در شبکه‌های میان‌خودرویی می‌توانند با کاهش تصادفات رانندگی و کاهش شلوغی جاده‌ای کمک کنند، زیرا به رانندگان کمک می‌کنند تا پیش از دیدن حادثه، تصادفات را پیش‌بینی کنند. این برنامه‌های ایمنی شامل پیام‌های اضطراری<sup>۳</sup> می‌شوند که تحت رویدادها ارسال می‌شوند. زمانی که حادثه‌ای در جاده شناسایی می‌شود، وسیله نقلیه این پیام را ارسال می‌کند تا وسایل نقلیه نزدیک اطلاع داده شود و از وقوع تصادفات چندگانه جلوگیری شود. هر چه بیشتر وسایل نقلیه پیام‌های اضطراری را دریافت کنند، خطر تصادفات را به سطح پایین‌تری کاهش می‌دهند. [۷]

هر وسیله نقلیه‌ای می‌تواند بر اساس برد ارتباطی خود در یک شبکه‌های میان‌خودرویی پیوند بگیرد. گره‌ها در این شبکه‌ها بسیار پویا هستند که موجب ایجاد چالش‌هایی برای ایجاد اعتماد بین گره‌ها به دلیل تعاملات کوتاه مدت آن‌ها می‌شود. وسایل نقلیه ممکن است به طور ناگهانی ناپدید شوند و دوباره ظاهر شوند که ایجاد اعتماد را پیچیده می‌کند. همچنین، وسایل نقلیه از طریق

<sup>3</sup> Emergency Message

<sup>1</sup> Vehicular Ad-hoc Networks

<sup>2</sup> Intelligent Transportation System

ارسال همزمان پیام‌های ایمنی (مانند اطلاعات تصادفات) و پیام‌های غیر ایمن (پیام‌های بیکن) با یکدیگر تعامل می‌کنند. [۸]

تکنولوژی ارتباطات بی‌سیم میان گره‌ها در شبکه‌های میان‌خودرویی از ارتباطات کوتاه مدت اختصاصی IEEE 802.11p به شبکه‌های سلولی 5G و New Radio (NR) Vehicle-to-Everything<sup>۱</sup> تکامل یافته است. این تغییر تکنولوژی برای دستیابی به کاهش زمان پاسخ، افزایش قابلیت اعتماد و برآوردن نیازهای پهنای باند بالا برای برنامه‌های Vehicle-to-Everything ضروری است. [۹]

شبکه‌های میان‌خودرویی می‌توانند با این خصوصیت‌ها دسته‌بندی شوند که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از توپولوژی پویا، اتصال متناوب، الگوهای سیار و فضای ذخیره‌سازی و انرژی نامحدود. [۱۰]

چالش‌های متعددی در شبکه‌های میان‌خودرویی وجود دارد. این چالش‌ها می‌توانند به‌عنوان زمینه پژوهش در آینده دیده شوند. برخی از این چالش‌ها عبارت‌اند از پویایی شبکه، مدیریت اطلاعات و فضا، امنیت و حریم اطلاعات، کیفیت خدمات، استانداردسازی [۱۱].

اجزای اصلی الگوریتم‌های خوشه‌بندی در شبکه‌های میان‌خودرویی عبارت‌اند از الگوریتم‌های تشکیل خوشه، الگوریتم‌های انتخاب سرخوشه<sup>۲</sup> و الگوریتم‌های نگهداری پویا از خوشه [۱۲].

الگوریتم‌های خوشه‌بندی مختلفی برای شبکه‌های میان‌خودرویی با در نظر گرفتن عواملی مانند تراکم خودرو، الگوهای تحرک، محدوده ارتباطی و کارایی انرژی پیشنهاد شده‌اند. در نتیجه، خوشه‌بندی در شبکه‌های میان‌خودرویی یک تکنیک

حیاتی برای افزایش کارایی و قابلیت‌های ارتباطی شبکه‌های خودرویی است.

خوشه‌بندی شبکه‌های میان‌خودرویی با سازمان‌دهی وسایل نقلیه در خوشه‌ها و به کارگیری سرخوشه‌ها، مقیاس‌پذیری، قابلیت اطمینان، مدیریت منابع را بهبود می‌بخشد و دامنه ارتباطات را گسترش می‌دهد. اتخاذ الگوریتم‌ها و پروتکل‌های خوشه‌بندی مناسب می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی به توسعه سیستم‌های میان‌خودرویی کارآمد و قابل اعتماد کمک نموده و تحقق سیستم‌های حمل‌ونقل ایمن و هوشمند در آینده را تقویت کند. [۱۳]

پروتکل‌های ارتباطی گوناگونی در شبکه‌های میان‌خودرویی مورد استفاده قرار می‌گیرند. پروتکل‌های ارتباطی به‌کاررفته در خوشه‌های شبکه‌های میان‌خودرویی، از جمله مکانیزم‌های انتشار اطلاعات، تجمیع داده‌ها و کنترل خطا قابل‌بررسی می‌باشند. تأثیر این پروتکل‌ها را بر کاهش هزینه‌های ارتباطی و افزایش تبادل اطلاعات نیز قابل ارزیابی می‌باشد. استراتژی ارتباط بین خوشه‌ای برای فعال کردن همکاری بین خوشه‌ها قابل‌بررسی می‌باشد. ارزیابی اثربخشی پروتکل‌ها در مدیریت سناریوهایی که در آن اطلاعات باید بین خوشه‌های مجاور به اشتراک گذاشته شود نیز قابلیت کار دارد [۱۴].

در روش پیشنهادی، جاده با استفاده از روش شاخص‌دهی فضایی به چند قسمت تقسیم می‌شود. سپس جهت حرکت وسایل نقلیه به عنوان معیار اولیه هم‌خوشه‌شدن انتخاب می‌شود تا وسایل نقلیه‌ای که در جهت مخالف حرکت می‌کنند در یک خوشه قرار نگیرند. در ادامه با در نظر گرفتن نسبت‌های فاصله، سرعت و شتاب وسایل نقلیه، خوشه‌ها را تشکیل می‌دهند. در نهایت با بهره‌گیری از پارامترهای سرعت، موقعیت مکانی، شتاب، تعداد همسایگان و محور حرکتی وسایل نقلیه در یک جاده، وسیله نقلیه

<sup>2</sup> Cluster Head

<sup>1</sup> V2X

با بالاترین صلاحیت به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. وضعیت وسایل نقلیه سرخوشه مدام بررسی می‌شوند تا در صورت نیاز جایگزینی سرخوشه به وسیله نقلیه‌ای که صلاحیت بالاتری داشته باشد انجام شود.

از نوآوری‌های روش پیشنهادی می‌توان به استفاده از وسایل نقلیه در لاین وسط مسیر اشاره کرد. انتظار می‌رود وسیله نقلیه‌ای که در لاین وسط در حرکت است کاندید بهتری برای سرخوشه شدن باشد. زیرا هم می‌تواند همسایگان بیش‌تری را پوشش دهد و هم احتمال اینکه از مسیر خارج شود کم‌تر است. این مورد یکی از نوآوری‌های این مقاله می‌باشد. هم‌چنین می‌توان به درجه گراف اتصال آن‌ها به عنوان متغیر جدید، اشاره کرد. هم‌چنین این روش بررسی می‌کند که وسایل نقلیه‌ای که قرار است هم‌خوشه شوند در جهت‌های مخالف حرکت نکنند. در واقع الگوریتم خوشه‌بندی پیشنهادی جلوی هم‌خوشه شدن وسایل نقلیه‌ای که در جهت مخالف در حرکت هستند را می‌گیرد، زیرا انتظار می‌رود این وسایل نقلیه بعد از مدت اندکی فاصله بسیار زیادی از هم گرفته باشند.

در بخش دوم، به مرور مقالات و روش‌های گذشته می‌پردازیم. در بخش سوم، الگوریتم خوشه‌بندی چندسطحی پویا با آگاهی فضایی شرح داده شده است. در بخش چهارم، الگوریتم پیشنهادی با روش‌های چندسرخوشه‌ای و مبتنی بر طول عمر، از لحاظ طول عمر خوشه‌ها، تعداد تغییرات در سرخوشه و تعداد خوشه‌های ایجاد شده مقایسه شده است و در بخش پنجم نتایج حاصل از این مقایسه‌ها تشریح شده است.

## ۲. مروری بر مطالعات گذشته

در این بخش، روش‌ها و تکنیک‌های موجود برای خوشه‌بندی در شبکه‌های میان‌خودرویی مورد بررسی قرار می‌گیرند. سرعت، موقعیت و جهت از عامل‌های اصلی مورد استفاده در این

پروتکل‌ها می‌باشند. در ادامه به بررسی جزئی‌تر هر بخش پرداخته می‌شود.

G. Khayat و همکاران در سال ۲۰۲۰ [۱۵]، یک روش خوشه‌بندی جدید براساس انتخاب سرخوشه مورداعتماد وزنی در شبکه‌های میان‌خودرویی پیشنهاد داده‌اند. در این روش الگوریتم خوشه‌بندی برای محاسبه احتمال انتخاب یک گره به‌عنوان سرخوشه معرفی شده است. هم‌چنین، در روش معرفی شده سه متغیر اصلی فاصله، سرعت و اطمینان دخیل می‌باشند.

فاصله در این روش به‌عنوان یکی از متغیرهای وزن‌دار در نظر گرفته شده است. وسیله نقلیه‌ای که کوتاه‌ترین فاصله را با بیش‌ترین تعداد از همسایگان داشته باشد، شانس بیش‌تری برای انتخاب شدن به‌عنوان سرخوشه خواهد داشت. متغیر دوم اعتماد است. مقدار اعتماد یک ایده جدید در رویکردهای انتخاب سرخوشه می‌باشد. این مقدار نمایانگر کارایی گره موردنظر است. در صورتی که گره همکار باشد، بسته‌ها را با کم‌ترین تأخیر ارسال می‌کند. اما اگر همکار نباشد، در روند انتشار بسته‌ها به مقصد، تأخیر ایجاد می‌کند. مقدار اعتماد برای گره‌های همکار بیش‌تر است. متغیر سوم در محاسبه احتمال انتخاب گره به‌عنوان سرخوشه، سرعت است. سرعت در این رابطه به علت تأثیری که بر تأخیر انتشار دارد، در نظر گرفته شده است.

در مطالعه‌ای دیگر که توسط نویسندگان M. A. Islam و همکاران در سال ۲۰۲۰ منتشر شده است [۱۶]، یک پروتکل مسیر یابی طول عمر مبتنی بر خط مرکزی در شبکه‌های میان‌خودرویی برای افزایش طول عمر یک وسیله نقلیه در حال حرکت، معرفی شده است. این روش در بهبود کیفیت سرویس مؤثر است. ایده اصلی این روش به این شرح است که سعی شود سرخوشه از خطوط مرکزی معابر انتخاب شود، زیرا احتمال

می‌رود این وسایل نقلیه مدت طولانی‌تری را در مسیر حضور داشته باشند و محدوده وسیع‌تری را تحت پوشش قرار دهند.

M. F. Hossen و همکاران در سال ۲۰۱۹ [۱۷]، روش

سلسله مراتب خوشه‌بندی مبتنی بر شبکه‌های نوری برای بهره‌وری انرژی در شبکه‌های میان‌خودرویی را پیشنهاد داده‌اند. در طرح پیشنهادی، واحدهای کنار جاده یک شبکه میان‌خودرویی به چند گروه کوچک به نام خوشه تقسیم می‌شوند. در هر خوشه، یک واحد کنار جاده‌ای به عنوان گره دروازه عمل می‌کند و هر گره دروازه از طریق فیبر نوری به ایستگاه پایه وایمکس متصل می‌شود.

در مطالعه‌ای دیگر که توسط نویسندگان P. S. Hamedani

و A. Rezazadeh در سال ۲۰۱۸ منتشر شده است [۱۸]، مشکل شکست در پیوند بین وسایل نقلیه یکی از چالش‌های اصلی در این شبکه‌ها است. یک الگوریتم مبتنی بر خوشه دو لایه قابل اعتماد در شبکه‌های میان‌خودرویی برای کاهش مشکل شکست پیوند معرفی شده است. استفاده از مسیریابی دو سطحی، حفظ مسیر و امکان خودسازماندهی را در زمانی که توپولوژی شکل ثابتی ندارد، آسان‌تر می‌کند. در سطح اول روش جدید انتخاب پیوند قوی و در سطح دوم از الگوریتم حریصانه برای انتخاب بهترین مسیر استفاده می‌شود. الگوریتم حریصانه بهترین انتخاب را با توجه به شرایط مسئله و معیارهای تعیین شده انجام می‌دهد. امیدوار است که بهینه‌سازی با ادامه همان رویه در هر مرحله انجام شود. به روشی حریصانه در هر مرحله عنصری که بر اساس معیار خاصی بهترین است انتخاب می‌شود. بدون توجه به انتخاب‌هایی که قبلاً انجام شده یا در آینده انجام خواهد شد، عنصر را انتخاب می‌کند. الگوریتم حریصانه روش خود را با یک مجموعه خالی شروع می‌کند و مرحله به مرحله عناصری به این

مجموعه اضافه می‌شود. در نهایت از مجموعه کامل به عنوان راه حل استفاده می‌شود. این الگوریتم انتخاب‌های خود را براساس اطلاعات محلی انجام می‌دهد.

S. Vergis و همکاران در سال ۲۰۲۱ [۱۹]، الگوریتم

خوشه‌بندی چندسرخوشه‌ای را معرفی کرده‌اند که در این روش ارتباط به صورت خودرو به خودرو<sup>۱</sup> تعریف شده است. هیچ واحد کنار جاده‌ای یا زیرساخت اضافه‌ای برای تبادل اطلاعات در نظر گرفته نشده است. هر وسیله نقلیه می‌تواند با باقی وسایل نقلیه‌ای که در محدوده آن هستند تبادل اطلاعات کند. برای این منظور می‌تواند یک پیام را بین باقی اعضا پخش کند یا پیامی مستقیم به یک وسیله نقلیه مشخص ارسال کند. هر وسیله نقلیه مجهز به یک سیستم موقعیت‌یابی جهانی<sup>۲</sup> و یک آنتن رادیویی برای برقراری ارتباط می‌باشد. به محض ورود یک وسیله نقلیه به شبکه جاده‌ای، الگوریتم شروع به کار می‌کند.

در مطالعه‌ای دیگر در سال ۲۰۲۲ [۲۰]، یک روش

خوشه‌بندی مبتنی بر مرکزیت در شبکه‌های میان‌خودرویی معرفی شده است. این روش از الگوریتم K-Means برای خوشه‌بندی استفاده می‌کند. پس از اعمال خوشه‌بندی، میانه‌ها محاسبه می‌شوند و با توجه به آن‌ها میزان مرکزیت گره‌ها مشخص می‌شود و گره‌ای با بیش‌ترین مرکزیت به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. وسیله‌نقلیه‌ای با مرکزیت میانی بالا، خودرویی است که اغلب در کوتاه‌ترین مسیرهایی که جفت‌های مختلف وسایل نقلیه را به یکدیگر متصل می‌کند، حضور دارد و آن را به یک کاندید ایده آل برای انتخاب شدن به عنوان سرخوشه تبدیل می‌کند.

در مطالعه‌ای دیگر در سال ۲۰۱۹ [۲۱]، یک روش

خوشه‌بندی مبتنی بر تحرک با تخمین کیفیت پیوند برای

<sup>2</sup> Global Positioning System (GPS)

<sup>1</sup> Vehicle to Vehicle (V2V)

شبکه‌های میان‌خودرویی شهری معرفی شده‌است که در این روش، یک طرح خوشه‌بندی مبتنی بر تحرک را با یک معیار جدید تخمین کیفیت پیوند خوشه با در نظر گرفتن نسبت سیگنال به نویز و نسبت دریافت بسته پیشنهاد شده است. جدای از در نظر گرفتن میانگین سرعت نسبی وسایل نقلیه همسایه، نسبت سیگنال به نویز و نسبت دریافت بسته در یک معیار برای جریمه کردن یا تشدید معیار مطابق با کیفیت پیوند بین یک وسیله نقلیه و وسایل نقلیه همسایه‌اش استفاده می‌شوند. با انجام این کار، وسیله نقلیه‌ای با کم‌ترین اختلاف سرعت و دریافت پیوند بهتر بین آن و وسایل نقلیه همسایه‌اش به عنوان سرخوشه برای خدمت به مدت زمان طولانی‌تر در یک خوشه انتخاب می‌شود. در مرحله جمع‌آوری داده، هر وسیله نقلیه یک جدول همسایه دارد و بسته‌های HELLO را به صورت دوره‌ای ارسال می‌کند و اطلاعات مرتبط را شامل شناسه، سرعت، جهت، حالت خوشه‌بندی، سرعت نسبی متوسط، نسبت سیگنال به نویز و نسبت دریافت بسته و کیفیت پیوند محاسبه شده، ارسال می‌کند. پس از دریافت بسته HELLO، هر وسیله نقلیه جدول همسایه خود را مطابق با آن به روز می‌کند و کیفیت پیوند را مجدداً محاسبه می‌کند تا در بازه، بسته HELLO بعدی ارسال شود. علاوه بر این، وسایل نقلیه‌ای که برای خدمت به عنوان سرخوشه انتخاب شده‌اند، یک جدول اعضای اضافی برای ذخیره و به‌روزرسانی لیستی از اعضای خوشه دارند. و وسیله نقلیه‌ای با مقدار کمتر کیفیت پیوند، بهتر در نظر گرفته می‌شود، زیرا مقدار کم‌تر این متغیر نشان می‌دهد که خودرو سرعت نزدیک‌تری به همسایگان خود دارد.

در مطالعه‌ای دیگر در سال ۲۰۱۸ [۲۲]، یک پروتکل منفعل اجتناب از انتخابات سرخوشه پیشنهاد شده است که در آن انتخاب مکرر سرخوشه، عمدتاً سربار کنترل خوشه‌ای را افزایش می‌دهد و توان عملیاتی موجود در شبکه را کاهش می‌دهد. سربار کنترل

خوشه‌ای بالا بر عملکرد شبکه تأثیر منفی می‌گذارد. در این روش، تمرکز بر کاهش پیام‌های سربار کنترل انتخابات سرخوشه است. بنابراین، یک پروتکل جدید اجتناب از انتخابات غیرفعال سرخوشه پیشنهاد می‌شود که هدف آن بهینه‌سازی تعداد فرآیند انتخابات سرخوشه است. هر سرخوشه، سرخوشه دیگری را بر اساس اطلاعات خاصی که قبلاً در حافظه خود ذخیره شده است انتخاب می‌کند، بدون اینکه نیازی به فعال کردن عملکرد انتخاب باشد. همچنین، یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر سرخوشه پیشنهاد شده که هدف آن کاهش تعداد سرخوشه‌های بازپخش شده بین هر جفت وسیله نقلیه است.

قطع ارتباط یکی از نتایج خرابی زیرساخت‌ها به دلیل تأثیر مستقیم بلایای طبیعی است. در مقاله [۲۳] که توسط G. Khayat و همکاران در سال ۲۰۲۰ منتشر شده است، روشی مبتنی بر فرمول وزن‌دار ارائه می‌شود که سعی دارد مشکل عدم موفقیت در انتقال بسته‌ها در شبکه‌های میان‌خودرویی را برطرف کند. سرخوشه‌ها وظیفه دارند داده‌ها را به بخش زیرساختی منتقل کنند. این مقاله مشکل عدم موفقیت انتقال بسته‌ها را در شرایط بحرانی برطرف می‌کند. این پروتکل از داشتن خوشه‌های هم‌پوشانی با سرخوشه‌های دوگانه اطمینان حاصل می‌کند و بنابراین تحویل موفقیت‌آمیز بسته به مقصد را تضمین می‌کند.

فرض کنیم وسیله نقلیه  $n$  بخواهد بسته‌ای را به وسیله نقلیه  $m$  ارسال کند و این دو وسیله نقلیه درون یک شبکه قرار داشته باشند. همان‌طور که پیش‌تر بحث شد، الگوریتم خوشه‌بندی مطرح شده شبکه را خوشه‌بندی می‌کند و در نتیجه آن دو حالت پیش می‌آید:

- وسایل نقلیه  $m$  و  $n$  هر دو در یک خوشه قرار گیرند.
- وسایل نقلیه  $m$  و  $n$  در دو خوشه متفاوت قرار گیرند.
- درحالی که هر دو وسیله نقلیه در یک خوشه قرار داشته باشند، واحد زیرساختی نقشی در مسیریابی

بسته‌ها ایفا نمی‌کند. دو وسیله نقلیه در بازه ارتباطی هم قرار دارند و می‌توانند به صورت مستقیم ارتباط برقرار کنند.

در حالتی که دو وسیله نقلیه در دو خوشه متفاوت قرار بگیرند، واحد زیر ساختی نقشی اساسی در مسیریابی بسته‌های آن‌ها پیدا می‌کند. واحد کنار جاده‌ای با ایجاد یک مسیر قوی برای ارسال بسته‌ها، قابلیت اطمینان را افزایش می‌دهد. عدم موفقیت در تحویل بسته زمانی رخ می‌دهد که زیرساخت کنار جاده‌ای به‌علت رویدادی بحرانی غیرعملکردی باشند. در بخش اول الگوریتم، سرخوشه انتخاب می‌شود. بخش دوم

پروتکل که با انتخاب سرخوشه ثانویه سروکار دارد در نقطه‌ای اجرا می‌شود. همه اعضای خوشه به استثنای سرخوشه‌های اولیه، فاصله تا همه اعضای خوشه در خوشه‌های همسایه را بررسی می‌کنند. دو عضو خوشه که کمترین فاصله جداکننده را دارند به‌عنوان سرخوشه ثانویه انتخاب می‌شوند. در نتیجه این پروتکل، ما یک شبکه میان‌خودرویی با یک ارتباط نظیر به نظیر تضمین‌شده و بدون نیاز به زیرساخت کنار جاده‌ای خواهیم داشت. در جدول ۱، روش‌های معرفی‌شده از نظر تعداد سرخوشه، تعداد خوشه و طول عمر مقایسه شده‌اند.

جدول (۱). مقایسه روش‌های معرفی شده

| الگوریتم/پارامتر | خوشه‌بندی مبتنی بر مرکزیت واسط در شبکه‌های بی‌سیم اتومبیلی همگانی [۲۰] | الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر تحرک با برآورد کیفی لینک برای شبکه‌های میان‌خودرویی شهری [۲۱] | مسیریابی مبتنی بر مسیر مرکزی با عمر مفید در شبکه‌های بی‌سیم اتومبیلی همگانی [۱۶] | پروتکل اجتناب از انتخاب سرخوشه غیرفعال و مسیریابی سرخوشه در شبکه‌های میان‌خودرویی [۲۲] |
|------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| تعداد سرخوشه     | X                                                                      | X                                                                                         | ۵۰                                                                               | X                                                                                      |
| تعداد خوشه       | X                                                                      | X                                                                                         | ۳۵                                                                               | ۴۰                                                                                     |
| طول عمر          | ۲۳ ثانیه                                                               | ۴۷ ثانیه                                                                                  | ۱۴ ثانیه                                                                         | X                                                                                      |

### ۳. روش پیشنهادی

این بخش، الگوریتم خوشه‌بندی چند سطحی پویا با آگاهی فضایی با انتخاب سرخوشه وزنی (DML-SAC-WCHS) را معرفی می‌کند، رویکرد جدیدی که برای بهینه‌سازی مدیریت شبکه‌های میان‌خودرویی در محیط‌های شهری طراحی شده است.

این الگوریتم، خوشه‌بندی پویا، آگاهی فضایی و انتخاب سرخوشه وزنی را باهدف بهبود پردازش داده‌های ترافیک در زمان واقعی و بهینه‌سازی شبکه وسایل نقلیه هم‌افزایی می‌کند. شبکه‌های میان‌خودرویی، به الگوریتم‌های خوشه‌بندی قوی و پویا برای اطمینان از ارتباطات و مدیریت شبکه کارآمد نیاز دارند. این بخش

توسعه یک الگوریتم خوشه‌بندی پیشرفته را ترسیم می‌کند که برای سازگاری با تحرک بالا و چگالی متغیر ذاتی در شبکه‌های میان‌خودرویی طراحی شده است. این الگوریتم مبتنی بر رویکرد خوشه‌بندی چندلایه است که هم مجاورت فضایی و هم ویژگی‌های سینماتیکی - یعنی جهت، سرعت و شتاب - وسایل نقلیه را به کار می‌گیرد.

در زمینه شبکه‌های میان‌خودرویی پیچیده‌تر، نیاز مبرمی به تکنیک‌های محاسباتی وجود دارد که بتواند داده‌های ترافیک را به طور کارآمد مدیریت و تجزیه و تحلیل کند. مدل‌های سنتی اغلب با ماهیت پویا و لایه‌ای شبکه‌های میان‌خودرویی دست‌وپنجه نرم می‌کنند.

DML-SAC-WCHS این چالش‌ها را از طریق یک رویکرد نوآورانه برای خوشه‌بندی آگاهانه فضایی در سیستم‌های ترافیکی برطرف می‌کند. هرچند باوجود اهمیت بالای طول‌عمر خوشه‌های ایجادشده، این روش مقداری از این مورد صرف نظر کرده و بیش‌تر به هم‌بستگی بالاتر خوشه‌ها اهمیت می‌دهد.

### ۱.۳. ابزارهای شبیه‌سازی

در این بخش به معرفی ابزارهای استفاده شده برای توسعه و شبیه‌سازی الگوریتم خوشه‌بندی چند سطحی ارائه‌شده خواهیم پرداخت.

برای تولید مدل حرکتی، از ابزار سومو<sup>۱</sup> که برای شبیه‌سازی جاده‌ها و مسیرهای شهری طراحی شده است، استفاده کرده‌ایم. همچنین از اوپن استریت مپ<sup>۲</sup> که یک منبع متن‌باز برای کار بر روی نقشه می‌باشد استفاده کرده‌ایم. به این ترتیب که با ترکیب این دو ابزار و زبان برنامه‌نویسی پایتون، ترافیک تصادفی را روی قسمتی از نقشه ایجاد کرده و با آن تعامل می‌کنیم. هم‌چنین برای تعامل با این شبیه‌سازی، از کتابخانه TraCI پایتون استفاده کرده‌ایم و با کمک این ابزار به‌صورت بلادرنگ اطلاعات مربوط به شبیه‌سازی را دریافت کرده و روی آن کار می‌کنیم. هدف این است که ابتدا با کمک الگوریتم ارائه‌شده خوشه‌بندی مناسبی را انجام داده و سپس به تعیین سرخوشه مناسب پرداخته شود. در انتها نیز با کمک ابزارهای نام‌پای<sup>۳</sup> و مت‌پلات<sup>۴</sup> به ترسیم نمودارهای شبیه‌سازی پرداخته خواهد شد.

### ۲.۳. توصیف چارچوب نظری الگوریتم

DML-SAC-WCHS شامل سه جز اصلی است:

- خوشه‌بندی پویا چندسطحی: این مکانیسم شبکه ترافیک را بر اساس داده‌های خودروی بی‌درنگ به خوشه‌هایی تقسیم

نموده و وضعیت خوشه‌بندی را با شرایط ترافیکی تطبیق می‌دهد.

- آگاهی از شاخص‌دهی فضایی: با استفاده از یک سیستم شاخص‌دهی فضایی پیچیده، الگوریتم وسایل نقلیه را بر اساس نزدیکی جغرافیایی و الگوهای حرکتی خوشه‌بندی می‌کند و کارایی محاسباتی را افزایش می‌دهد.

- انتخاب سرخوشه مبتنی بر محاسبات وزنی: این الگوریتم سرخوشه‌ها را بر اساس عواملی مانند سرعت، شتاب، جهت و نزدیکی خودرو انتخاب می‌کند و با یک سیستم وزن‌دهی، وسایل نقلیه‌ای که به بهترین شکل روند حرکت خوشه را نشان می‌دهند، اولویت‌بندی می‌کند.

الگوریتم پیشنهادی از یک مکانیسم خوشه‌بندی طبقه‌ای استفاده می‌کند که به‌طور عاقلانه وسایل نقلیه را برای تشکیل خوشه‌هایی که پیش‌بینی می‌شود در طول زمان پایدار و منسجم باشند، گروه‌بندی می‌کند. در آغاز شبیه‌سازی، این الگوریتم شبکه جاده‌ای را شاخص‌دهی فضایی می‌کند. مرحله دوم شکل‌دهی اولیه خوشه براساس مجاورت و هم‌جهت بودن وسایل نقلیه می‌باشد. به‌عنوان یک گام اولیه، وسایل نقلیه بر اساس نزدیکی جغرافیایی و جهت آن‌ها دسته‌بندی می‌شوند. این گام اساسی برای ایجاد خوشه‌هایی با انسجام حرکتی ذاتی حیاتی است. سپس، تجزیه و تحلیل سرعت نسبی صورت می‌گیرد.

پس از خوشه‌بندی اولیه، الگوریتم گروه‌ها را بر اساس سرعت نسبی و وسایل نقلیه اصلاح می‌کند و اطمینان می‌دهد که وسایل نقلیه درون یک خوشه سرعت‌های مشابهی را داشته باشند. در ادامه شتاب نسبی بررسی می‌شود. اصلاح نهایی بر اساس شتاب نسبی و وسایل نقلیه است، بنابراین خوشه‌هایی را تشکیل می‌دهد که احتمالاً نزدیکی خود را در طول زمان حفظ می‌کنند. البته قابل ذکر است که برای به دست آوردن خوشه‌های منسجم‌تر، مقداری جریمه زمانی تحمل شده است. هم‌چنین در

<sup>3</sup> NumPy

<sup>4</sup> Matplotlib

<sup>1</sup> SUMO

<sup>2</sup> OpenStreetMap

مرحله نگه‌داری از وضعیت خوشه، با بررسی وضعیت فعلی خوشه و سرخوشه‌ها، در صورت لزوم خوشه‌های واجد شرایط را ادغام می‌کند و سرخوشه‌هایی که دیگر صلاحیت ندارند را تعویض می‌کند.

### ۳.۳. طراحی الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی با کمک TraCI و سومو، برای استخراج داده‌های ترافیک بلادرنگ، پردازش آن‌ها از طریق خوشه‌بندی چند سطحی و شاخص‌دهی فضایی، اقدام می‌کند. انتخاب سرخوشه بر اساس معیارهای از پیش تعریف شده و هم‌سو با اهداف مدیریت ترافیک است.

مرحله اول، شکل‌دهی اولیه خوشه است. گام اولیه ایجاد شاخص‌های فضایی مناسب برای شبکه جاده‌ای می‌باشد. الگوریتم با ارزیابی موقعیت و جهت هر وسیله‌نقلیه ادامه می‌یابد. اگر دو وسیله‌نقلیه در یک فاصله آستانه از پیش تعریف شده قرار داشته باشند و مسیر جهت آن‌ها بیش از یک زاویه مشخص متفاوت نباشد، برای یک خوشه در نظر گرفته می‌شوند. این مرحله خوشه‌های اولیه‌ای را ایجاد می‌کند که متشکل از وسایل نقلیه با احتمال بالا برای حفظ نزدیکی به دلیل مسیرهای هم‌سو هستند.

در ادامه با توجه به سرعت شرطی، خوشه‌بندی ادامه پیدا می‌کند. پس از خوشه‌بندی اولیه، الگوریتم یک آستانه تعداد اعضا را برای شناسایی خوشه‌های قابل دوام برای پردازش بیش‌تر تحمیل می‌کند. خوشه‌هایی که از این آستانه فراتر می‌روند، بر اساس سرعت نسبی وسایل نقلیه عضو، تحت دسته‌بندی فرعی قرار می‌گیرند. این مرحله با گروه‌بندی وسایل نقلیه‌ای که با سرعت‌های مشابه حرکت می‌کنند، پایداری خوشه را افزایش می‌دهد و پتانسیل واگرایی سریع در داخل خوشه را کاهش می‌دهد.

سپس با توجه به شتاب نسبی، بهبود بیشتری حاصل می‌شود. متعاقباً، الگوریتم شتاب نسبی و وسایل نقلیه را در زیر خوشه‌های مبتنی بر سرعت ارزیابی می‌کند. این مرحله اصلاح مشروط به این است که خوشه‌های فرعی به آستانه تعداد اعضای ثانویه برسند. خوشه‌هایی که از این نقطه عبور می‌کنند از وسایل نقلیه‌ای تشکیل می‌شوند که نه تنها در یک جهت و با سرعت‌های مشابه حرکت می‌کنند، بلکه خصوصیت شتاب مشابهی را نیز نشان می‌دهند و یکپارچگی خوشه را بیشتر تقویت می‌کنند.

### ۴.۳. توصیف الگوریتم پیشنهادی

این الگوریتم به گونه‌ای طراحی شده است که جز به جز و قابل انطباق باشد و امکان تنظیم آستانه‌ها را بر اساس داده‌های تجربی یا الزامات خاص محیط شبکه‌های میان‌خودرویی فراهم کند. تاکید بر مسافت و جهت به عنوان معیارهای اولیه خوشه‌بندی با گروه‌بندی طبیعی که به دلیل حرکت وسیله نقلیه اتفاق می‌افتد هم‌سو می‌شود، در حالی که بررسی‌های سرعت و شتاب بعدی، این گروه‌ها را به خوشه‌های عملی و پایدار برای مدیریت کارآمد شبکه اصلاح می‌کند.

شاخص‌دهی فضایی روشی است که در علوم کامپیوتر برای دسترسی مؤثر و جستجوی داده‌های مکانی مانند مختصات در دو یا سه بعد استفاده می‌شود. هدف اولیه شاخص‌دهی فضایی کاهش تعداد اجزایی از شبکه است که برای یافتن اجزایی که در نزدیکی یکدیگر یا در یک منطقه خاص قرار دارند باید بررسی شوند. در روش پیشنهادی مطابق شبکه‌کد ارائه‌شده در الگوریتم ۱، فرآیند شاخص‌دهی فضایی و تقسیم شبکه جاده‌ای صورت می‌پذیرد:

---

#### الگوریتم ۱: شاخص‌دهی فضایی

---

ورودی: شاخص فضایی و اطلاعات وسایل نقلیه

خروجی: شاخص فضایی بروزرسانی‌شده

## ۱. شروع حلقه

دریافت موقعیت مکانی وسیله نقلیه

دریافت حالت فعلی شاخص فضایی

اضافه کردن وسیله نقلیه به شاخص فضایی

تابع گروه‌بندی با موقعیت و جهت فرآیند شکل‌دهی اولیه خوشه‌بندی را آغاز می‌کند. این فرآیند برای هر وسیله نقلیه حاضر تکرار می‌شود و آن را با دیگر وسایل نقلیه مقایسه می‌کند تا مشخص کند آیا آن‌ها در یک فاصله مشخص هستند و جهت حرکت یکسانی دارند یا خیر. وسیله نقلیه‌ای که هر دو معیار را دارند باهم گروه‌بندی می‌شوند و خوشه‌های اولیه را تشکیل می‌دهند. خوشه‌های اولیه ارزیابی می‌شوند تا اطمینان حاصل شود که تعداد اعضای کافی برای رفتن به مرحله بعدی دارند. این مرحله یک معیار کارایی حیاتی برای تمرکز منابع محاسباتی بر روی خوشه‌های امیدوارکننده است.

خوشه‌هایی که از آستانه تعداد عضو عبور می‌کنند، سپس با سرعت نسبی با استفاده از تابع گروه‌بندی با سرعت بهبود داده می‌شوند. وسایل نقلیه در این خوشه‌ها اگر اختلاف سرعت آن‌ها در محدوده مشخص شده باشد، بیشتر گروه‌بندی می‌شوند.

آخرین مرحله بهبود خوشه‌بندی با تابع گروه‌بندی با شتاب انجام می‌شود. این مرحله خوشه‌ها را بیشتر محدود می‌کند تا وسایل نقلیه با الگوهای شتاب مشابه را در بر بگیرد و خوشه‌های بسیار منسجمی را تشکیل می‌دهد. خوشه‌های حاصل از مراحل قبلی، خوشه‌های نهایی هستند که انتظار می‌رود پایدار باشند و عضویت خوشه را برای دوره‌های طولانی‌تر حفظ کنند. این موضوع برای مدیریت شبکه و پروتکل‌های ارتباطی در شبکه‌های میان‌خودرویی مفید است.

شبه کد فرآیند خوشه‌بندی در الگوریتم ۲ آورده شده است.

## الگوریتم ۲: الگوریتم خوشه‌بندی

ورودی: مجموعه وسایل نقلیه حاضر در شبیه‌سازی، آستانه‌های

سرعت، شتاب و موقعیت مکانی

خروجی: مجموعه خوشه‌های تشکیل شده

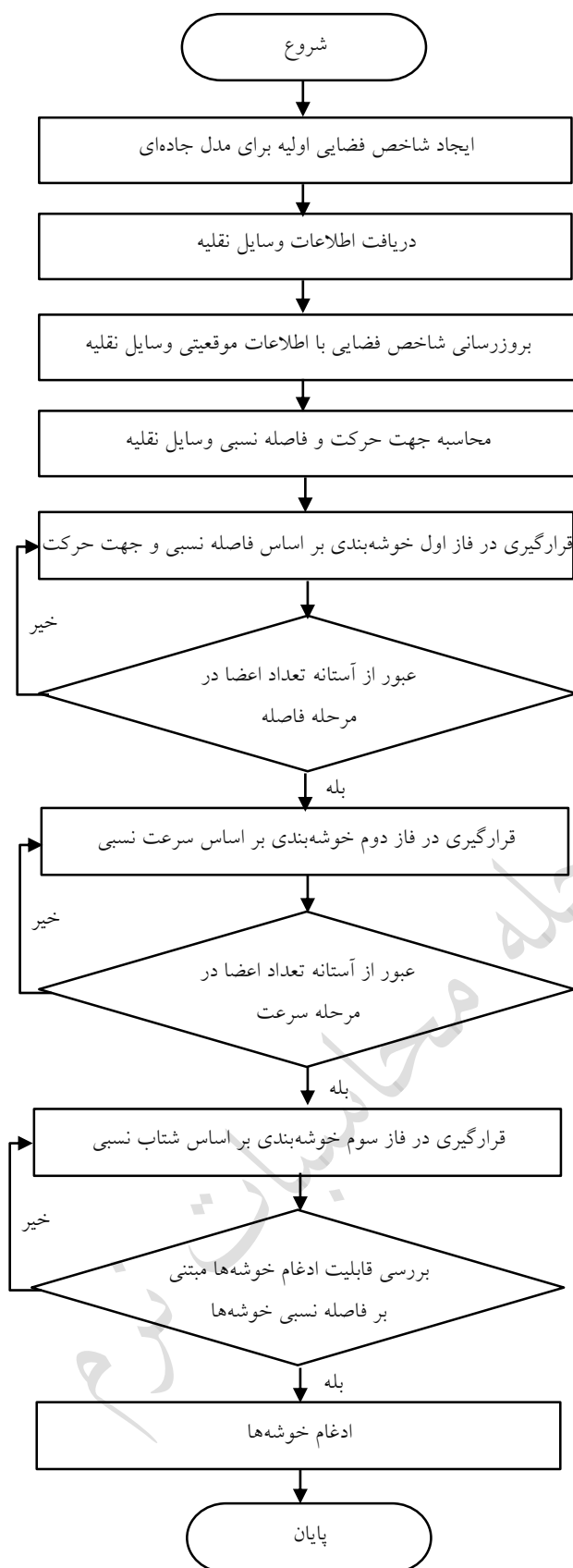
۱. خوشه‌بندی اولیه براساس جهت و مکان
۲. بررسی هم‌جهت بودن و حضور در فاصله مناسب
۳. بررسی شرط تعداد اعضا در خوشه اولیه
۴. ورود به مرحله دوم خوشه‌بندی در صورت عبور از آستانه
۵. خوشه‌بندی دوم براساس سرعت
۶. بررسی برخورداری از سرعت نسبی متناسب
۷. ورود به مرحله سوم خوشه‌بندی در صورت عبور از آستانه
۸. خوشه‌بندی سوم براساس شتاب
۹. بررسی برخورداری از شتاب نسبی متناسب

نمودار جریان این الگوریتم بر اساس شکل ۱ می‌باشد.

پس از شکل‌گیری خوشه‌ها، نوبت به فرآیند انتخاب سرخوشه مناسب می‌رسد. انتخاب سرخوشه‌ای که شایستگی بالایی داشته باشد و احتمال سرخوشه ماندن آن با گذشت زمان بالاتر باشد، هدف اصلی این مرحله از الگوریتم می‌باشد. در بخش بعدی، به ارائه مرحله به مرحله الگوریتم انتخاب سرخوشه و ارائه شبه‌کد و نمودار جریان مربوط به آن خواهیم پرداخت.

## ۵.۳. توصیف الگوریتم انتخاب سرخوشه

در الگوریتم پیشنهادی برای انتخاب سرخوشه مناسب، هدف اصلی انتخاب وسیله نقلیه با مرکزیت مکانی بیشتر، اتصال به وسایل نقلیه بیشتر از نظر همسایه بودن و همچنین سرعت و شتاب متناسب می‌باشد. به همین منظور یک فرمول خطی وزن‌دار برای انتخاب سرخوشه ارائه می‌شود. این فرمول موارد زیر را در نظر می‌گیرد:



شکل (۱). نمودار جریان الگوریتم خوشه‌بندی

- سرعت وسیله نقلیه
- شتاب وسیله نقلیه
- فاصله وسیله نقلیه با دیگر وسایل نقلیه
- حضور در محور مرکزی جاده
- تعداد همسایگان وسیله نقلیه

در ادامه به تشریح هرکدام از این پارامترها می‌پردازیم:

سرعت و شتاب: سرعت و شتاب پایین‌تر نسبت به باقی وسایل نقلیه ترجیح داده می‌شود. زیرا باعث می‌شود تحرک نسبی بین وسایل نقلیه به حداقل برسد.

فاصله: یک مقدار میانگین کم‌تر از فاصله با دیگر وسایل نقلیه ترجیح داده می‌شود.

حضور در محور مرکزی: وسایل نقلیه‌ای که در محور میانی در حرکت هستند ترجیح داده می‌شوند. زیرا احتمال می‌رود که کم‌تر محور حرکتشان را تغییر دهند. همچنین احتمال می‌رود دیرتر از جاده خارج شوند. همچنین این وسایل نقلیه می‌توانند خودروهای بیش‌تری را به عنوان همسایه پوشش دهند.

تعداد همسایگان: وسیله نقلیه با تعداد همسایگان بیش‌تر ترجیح داده می‌شود. این وسایل نقلیه اتصال بیش‌تری با دیگر اجزای شبکه دارند و می‌توانند انتخاب‌های خوبی برای سرخوشه شدن باشند.

با توجه به موارد صفحه قبل، فرمول خطی وزن‌دار انتخاب سرخوشه را به صورت زیر شرح می‌دهیم. متغیرهای زیر را در نظر می‌گیریم:

- متغیر  $V_i$  بیان‌گر سرعت وسیله نقلیه می‌باشد.
- متغیر  $A_i$  بیان‌گر شتاب وسیله نقلیه می‌باشد.
- متغیر  $D_i$  بیان‌گر فاصله میانگین وسیله نقلیه می‌باشد.
- متغیر  $V_i$  بیان‌گر سرعت وسیله نقلیه نسبت به باقی وسایل نقلیه می‌باشد.

- متغیر  $L_i$  بیانگر محور حرکت و سیله نقلیه می باشد. این متغیر دو مقدار ۰ و ۱ را می پذیرد. اگر وسیله نقلیه در محور مرکزی باشد مقدار ۱ و در غیر این صورت مقدار آن ۰ خواهد بود.

- متغیر  $N_i$  بیانگر تعداد همسایگان وسیله نقلیه می باشد.

امتیاز وسیله نقلیه  $i$  برای انتخاب به عنوان سرخوشه با کمک فرمول خطی وزن دار آورده شده در رابطه ۱ محاسبه می شود:

$$S_i = w_1 \cdot \frac{1}{V_i + \varepsilon} + w_2 \cdot \frac{1}{A_i + \varepsilon} + w_3 \cdot \frac{1}{D_i + \varepsilon} + w_4 \cdot L_i + w_5 \cdot N_i \quad (1)$$

رابطه (۱). محاسبه امتیاز وسیله نقلیه برای سرخوشه شدن

در فرمول بالا، ضرایب های  $w_1, w_2, w_3, w_4$  و  $w_5$  وزن های اختصاص داده شده به هر عامل می باشند و مقدار  $\varepsilon$  مقداری ناچیز برای جلوگیری از تقسیم بر صفر است. وسیله نقلیه با بیشترین مقدار  $S_i$  به عنوان سرخوشه انتخاب می شود. ضرایب وزنی باید بر اساس اهمیت هر کدام از عامل های درگیر در فرمول انتخاب شوند. برای مثال حالت زیر را در نظر می گیریم:

- ضرایب  $w_1, w_2$  باید به نسبت مقدار کوچکتری داشته باشند، زیرا ترجیح بر این است که وسایل نقلیه با سرعت و شتاب کم تر، شانس بیشتری برای انتخاب شدن داشته باشند. همچنین اهمیت این دو عامل به نسبت فاصله کم تر است.

- ضریب  $w_3$  باید مقدار بیشتری داشته باشد. زیرا فاصله میانگین مناسب از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است.

- ضریب  $w_4$  مرتبط با عامل حضور در مرکز جاده می باشد. این عامل به عنوان یک شاخص امتیازی برای وسیله نقلیه در نظر گرفته شده است. مقدار این ضریب باید قابل توجه باشد تا تأثیر حضور در محور مرکزی جاده را پررنگ کند.

- ضریب  $w_5$  باید نسبتی میانگین داشته باشد تا بتواند بدون ایجاد تداخل در دیگر عامل ها تأثیر متقابل تعداد همسایگان را ایجاد کند.

برای عملکرد بهتر این الگوریتم، از نرمال سازی عامل های حاضر در فرمول استفاده می کنیم. این عملکرد باعث می شود که مقادیر به دست آمده که در مقیاس های مختلفی می باشند، به یک مقیاس مشترک برسند. به این ترتیب تضمین می شود که هر عامل به صورت متناسب در به دست آمدن امتیاز نهایی صحیح تر کمک کند. در ادامه نرمال سازی در نظر گرفته شده برای هر کدام از این عامل ها را تشریح می کنیم:

- نرمال سازی سرعت و شتاب: می توان سرعت و شتاب هر وسیله نقلیه را با تقسیم بر حداکثر سرعت و شتاب مشاهده شده در خوشه مدنظر نرمال سازی کرد.

- نرمال سازی فاصله: می توان فاصله را با تقسیم فاصله هر وسیله نقلیه با سایر وسایل نقلیه بر حداکثر فاصله مشاهده شده در خوشه و سپس تفریق این مقدار از ۱ برای به دست آوردن فاصله کم تر نرمال سازی کرد.

- نرمال سازی تعداد همسایگان: می توان تعداد همسایگان را با تقسیم تعداد همسایگان وسیله نقلیه بر حداکثر تعداد همسایگان مشاهده شده در خوشه نرمال سازی کرد.

به این ترتیب، پس از نرمال سازی، هر عامل مقداری بین ۰ و ۱ خواهد داشت. نزدیک بودن به مقدار ۰ نشان دهنده حداقل شرایط مطلوب برای انتخاب سرخوشه و نزدیک بودن به ۱ نشان دهنده حداکثر شرایط مطلوب برای انتخاب به عنوان سرخوشه می باشد. مقادیر نرمال سازی شده را به صورت زیر تعریف می کنیم:

- $\hat{S}_i$ : سرعت نرمال سازی شده وسیله نقلیه  $i$
- $\hat{A}_i$ : شتاب نرمال سازی شده وسیله نقلیه  $i$
- $\hat{D}_i$ : فاصله میانگین نرمال سازی شده وسیله نقلیه  $i$  نسبت به دیگر وسایل نقلیه حاضر در خوشه
- $\hat{N}_i$ : تعداد همسایگان نرمال سازی شده وسیله نقلیه  $i$
- $L_i$  بیانگر محور حرکت وسیله نقلیه می باشد. این متغیر دو مقدار ۰ و ۱ را می پذیرد. اگر وسیله نقلیه در محور مرکزی باشد مقدار ۱ و در غیر این صورت مقدار آن ۰ خواهد بود.

امتیاز نرمال سازی شده براساس فرمول ۲ محاسبه می شود.

$$NS_i = w_1.(1 - \hat{S}_i) + w_2.(1 - \hat{A}_i) + w_3.(1 - \hat{D}_i) + w_4.L_i + w_5.\hat{N}_i \quad (2)$$

رابطه (۲). امتیاز نرمال سازی شده برای انتخاب سرخوشه

در اینجا سرعت و شتاب نرمال سازی شده را از ۱ کم می کنیم زیرا سرعت و شتاب کم تر برای سرخوشه ترجیح داده می شود. مقدار  $L_i$  نیازی به نرمال سازی ندارد، زیرا در حال حاضر یک مقدار باینری است. در ادامه باید روند نرمال سازی را برای در نظر گرفتن اهمیت فواصل کوچک تر تنظیم کنیم. یک رویکرد متداول برای نرمال سازی فواصل به طوری که مقادیر کوچک تر نمرات بالاتری را به همراه داشته باشد، معکوس کردن نسبت پس از نرمال سازی است. این امر را می توان با کم کردن مقدار نرمال شده از ۱ انجام داد، که در آن مقدار نرمال شده فاصله یک وسیله نقلیه تقسیم بر حداکثر فاصله مشاهده شده است تا اطمینان حاصل شود که همه فواصل نرمال شده بین ۰ و ۱ هستند. برای مقدار فاصله نرمال سازی شده  $\hat{D}_i$  از رابطه ۳ استفاده می کنیم.

$$\hat{D}_i = \frac{D_i}{D_{max}} \quad (3)$$

رابطه (۳). محاسبه فاصله نرمال سازی شده

در نهایت، فرمول وزنی نرمال سازی شده مطابق الگوریتم ۳ است.

### الگوریتم ۳: الگوریتم انتخاب سرخوشه

ورودی: وسایل نقلیه حاضر در خوشه و ضرایب وزنی

خروجی: سرخوشه متناسب خوشه

۱. پیدا کردن سرعت بیشینه درون خوشه
۲. پیدا کردن شتاب بیشینه درون خوشه
۳. پیدا کردن فاصله بیشینه درون خوشه
۴. پیدا کردن تعداد همسایگان بیشینه درون خوشه
۵. انتساب دو متغیر بیش ترین امتیاز و سرخوشه با مقدار

صفر و null

۶. شروع حلقه (پیمایش وسایل نقلیه)

۷. محاسبه مقادیر نرمال سازی شده برای وسیله

۸. اعمال ضرایب وزنی و محاسبه امتیاز با فرمول وزنی

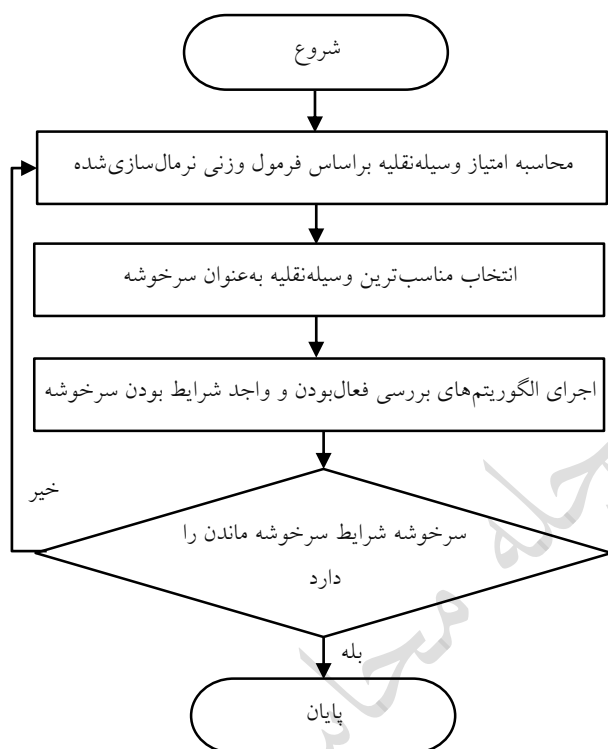
۹. مقایسه با مقدار بیش ترین امتیاز (مقدار اولیه صفر)

۱۰. شرط: در صورت بیش تر بودن از متغیر بیش ترین امتیاز

مقدار بازنویسی می شود.

۱۱. معرفی سرخوشه با پایان حلقه

نمودار جریان این فرآیند به صورت شکل ۲ می باشد.



شکل (۲). نمودار جریان انتخاب سرخوشه

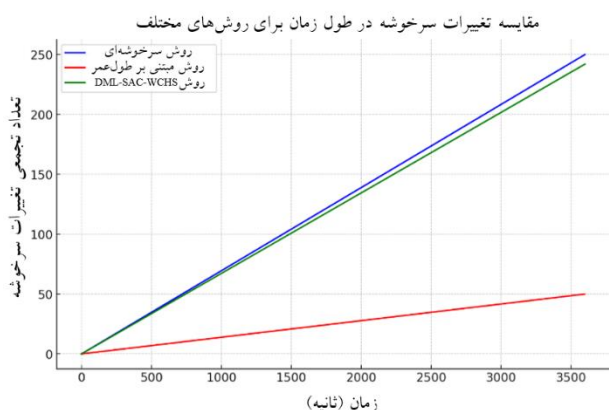
### ۶.۳. نگاه داری مناسب از خوشه ها

نگهداری خوشه یکی از جنبه های حیاتی الگوریتم های خوشه بندی در شبکه های میان خودروپی است، زیرا پایداری و کارایی طولانی مدت شبکه را تضمین می کند. فرآیند تعمیر و نگهداری معمولاً شامل بازیابی و تنظیم ساختار خوشه ای به منظور در نظر گرفتن ماهیت پویای شبکه های میان خودروپی است.

در اینجا چندین مؤلفه کلیدی وجود دارد که با ید در استراتژی نگهداری خوشه گنجانده شود. این مؤلفه ها عبارت اند

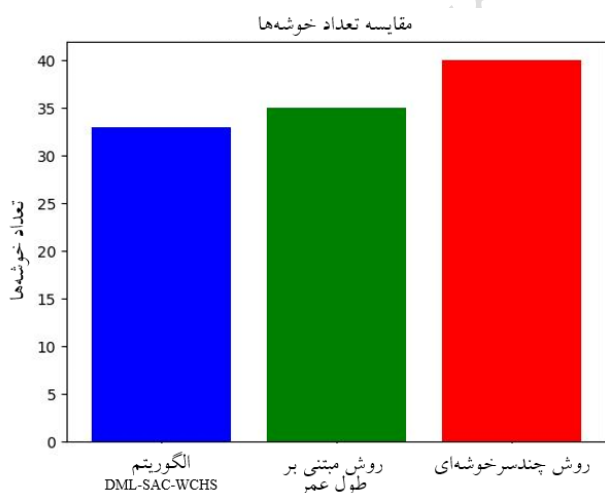
همان‌طور که مشاهده می‌شود، روش DML-SAC-WCHS از هر دو روش دیگر، از نظر تعداد خوشه‌های ایجادشده بهتر عمل کرده است. هم‌چنین از لحاظ تعداد کل تغییرات سرخوشه از روش چندسرخوشه‌ای عملکرد بهتری داشته است. این الگوریتم از لحاظ طول عمر خوشه‌ها، اندکی عملکرد ضعیف‌تری داشته است.

در شکل ۳، هر سه روش اشاره شده از لحاظ تغییرات سرخوشه مقایسه شده‌اند.



شکل (۳). مقایسه تعداد تغییرات سرخوشه

در شکل ۴، هر سه روش از لحاظ تعداد خوشه‌های ایجادشده مقایسه شده‌اند.



شکل (۴). مقایسه تعداد خوشه‌های ایجادشده

از: ارزیابی عضویت در خوشه، بررسی زنده بودن سرخوشه، انتخاب مجدد پویای سرخوشه، سازگاری با تغییرات ساختاری شبکه، برخورد با اعضای جدید و در حال خروج و بهینه سازی پایداری خوشه.

#### ۴. ارزیابی و مقایسه روش پیشنهادی

در این بخش قصد داریم به بررسی نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها و روش‌های انجام شده در پژوهش حاضر بپردازیم. در ابتدا، به معرفی پارامترهای مورد مقایسه در این روش‌ها خواهیم پرداخت و هم‌چنین متغیرهای استفاده شده در فرمول خطی وزنی امتیازدهی به وسایل نقلیه جهت انتخاب شدن به عنوان سرخوشه نیز در جدول ۳ تشریح شده‌اند. نتایج بدست آمده از روش‌هایی که با الگوریتم این پژوهش در مقایسه هستند را در قالب این پارامترها بررسی می‌کنیم. در انتها مقادیر بدست آمده از این پارامترها را در الگوریتم این پژوهش بررسی می‌کنیم و در قالب جداول و نمودارها به مقایسه عملکرد این الگوریتم با روش‌های دیگر خواهیم پرداخت. روش پیشنهادی از نظر تعداد خوشه‌های ایجادشده، تعداد تغییرات سرخوشه و طول عمر با روش‌های مطرح شده در بخش‌های ۲-۲ و ۲-۵ مقایسه شده است.

در جدول ۲، نتایج حاصل از این مقایسه‌ها نشان داده می‌شود.

جدول (۲). مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های طول عمر و

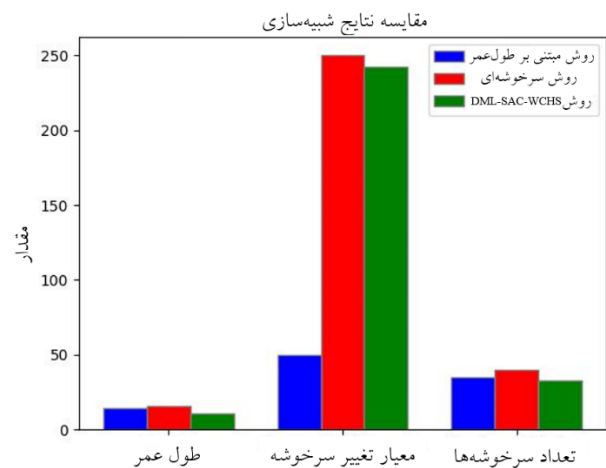
چندسرخوشه‌ای

| تعداد خوشه‌های ایجادشده | تعداد تغییرات سرخوشه | طول عمر | الگوریتم              |
|-------------------------|----------------------|---------|-----------------------|
| ۴۰                      | ۲۵۰                  | ۱۶      | روش چند سرخوشه‌ای     |
| ۳۵                      | ۵۰                   | ۱۴      | روش مبتنی بر طول عمر  |
| ۳۳                      | ۲۴۲                  | ۸       | الگوریتم DML-SAC-WCHS |

جدول (۳). معرفی پارامترهای فرمول خطی وطن دار امتیاز دهی به وسایل نقلیه

| پارامتر                                        | مقدار  | توضیحات                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| تعداد وسیله نقلیه                              | ۱۰۰    | به صورت کاملاً تصادفی                                                                                                                                                                                                                             |
| سرعت اولیه                                     | تصادفی | از آستانه ۹۰ کیلومتر در ساعت تجاوز نخواهد کرد                                                                                                                                                                                                     |
| شتاب اولیه                                     | تصادفی | از آستانه ۹۰ کیلومتر در ساعت تجاوز نخواهد کرد                                                                                                                                                                                                     |
| آستانه w1 برای سرعت                            | ۰,۵    | سعی شده است به فاصله که یکی از اصلی ترین معیارها می باشد وزن بیش تری داده شود (w3). سرعت (w1)، تعداد همسایگان (w5) و حضور در لاین وسط (w4) از وزن مشابهی برخوردار هستند. متغیر شتاب که بیش تر برای پیش بینی استفاده می شود، وزن کم تری دارد (w2). |
| آستانه w2 برای شتاب                            | ۰,۴    |                                                                                                                                                                                                                                                   |
| آستانه w3 برای فاصله                           | ۰,۶    |                                                                                                                                                                                                                                                   |
| آستانه w4 برای حضور یا عدم حضور در مرکزیت جاده | ۰,۵    |                                                                                                                                                                                                                                                   |
| آستانه w5 برای تعداد همسایگان                  | ۰,۵    |                                                                                                                                                                                                                                                   |

در نهایت، هر سه روش به صورت جامع در شکل ۵ با یکدیگر مقایسه شده اند. لازم به ذکر است که واحد محور عمودی برای هر ستون، به ترتیب از راست به چپ، تعداد، تعداد و ثانیه می باشد.



شکل (۵). مقایسه جامع سه روش

با توجه به نتایج نمایش داده شده، الگوریتم پیشنهادی توانسته است از لحاظ تعداد خوشه های ایجاد شده به مقدار ۱۷,۵٪ نسبت به روش چندسرخوشه ای و به مقدار ۵,۷٪ نسبت به روش طول عمر بهتر عمل کند. هم چنین از لحاظ تغییر سرخوشه ها به مقدار ۳,۲٪ نسبت به روش چندسرخوشه ای بهتر عمل کرده است.

در الگوریتم خوشه بندی چند سطحی با آگاهی فضایی پویا با انتخاب سرخوشه وزنی (DML-SAC-WCHS)، پارامترهای متعددی بر عملکرد الگوریتم و دقت شبیه سازی ترافیک تأثیر حیاتی دارند. این بخش به سه پارامتر از این قبیل می پردازد: تعداد خوشه ها، تعداد تغییرات سر خوشه و طول عمر خوشه. درک تأثیر این پارامترها برای بهینه سازی الگوریتم و دستیابی به شبیه سازی های ترافیک واقعی ضروری است. تعداد خوشه ها به تعداد کل خوشه بندی و سایل نقلیه متمایز تشکیل شده در شبیه سازی ترافیک در هر زمان معین اشاره دارد. از تأثیرات این پارامتر می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- خوشه بندی شبیه سازی: تعداد بیشتر خوشه ها معمولاً نشان دهنده خوشه بندی دقیق تری در شبیه سازی است که امکان تجزیه و تحلیل دقیق تر الگوهای ترافیک را فراهم می کند. از طرفی دیگر، ایجاد خوشه های کم تر، اما منسجم تر نیز می تواند بسیار موثر باشد.

- پیچیدگی محاسباتی: خوشه‌های بیشتر می‌تواند منجر به افزایش سربار محاسباتی شود، زیرا هر خوشه به مدیریت و پردازش جداگانه نیاز دارد.
- واقع‌گرایی و دقت: در حالت ایده‌آل، تعداد خوشه‌ها باید منعکس‌کننده توزیع واقعی وسایل نقلیه باشد. تعداد بسیار کمی از خوشه‌ها ممکن است پویایی ترافیک را بیش از حد ساده کنند، در حالی که تعداد بسیار زیاد می‌تواند بدون افزودن بینش‌های معنادار، شبیه‌سازی را بیش از حد پیچیده کنند.
- تعداد تغییرات در سرخوشه تعداد دفعاتی را سرخوشه در طول شبیه‌سازی تغییر می‌کند را محاسبه می‌کند. از تاثیرات این پارامتر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

## ۵. نتیجه‌گیری

- دستیابی به تعادل در این معیارها برای یک شبکه میان‌خودرویی کارآمد و پایدار بسیار مهم است. درحالی‌که پایداری (از نظر طول عمر خوشه بیش‌تر و تغییرات سرخوشه کمتر و کاهش تعداد خوشه‌ها) مطلوب است، شبکه هم‌چنین باید انعطاف‌پذیر و سازگار با محیط پویا خودرو باقی بماند.
- تعداد خوشه‌های تشکیل‌شده باید با نیازهای مقیاس‌پذیری شبکه و الزامات ارتباطی وسایل نقلیه مطابقت داشته باشد و ارتباطات کارآمد و قابل‌اعتماد را بدون هزینه‌های سنگین مدیریت شبکه تضمین کند.
- با توجه به این موضوع که در این شبیه‌سازی، انسجام بالاتر خوشه‌ها معیار اصلی بهبود است، می‌توان ادعا کرد که با مقدار اندکی جریمه زمانی، این الگوریتم توانسته است به‌صورت میانگین از نظر بهبود در تعداد خوشه‌های ایجاد شده نسبت به هر دو روش مورد مقایسه بهبود حاصل کند. هم‌چنین توانسته است از نظر تعداد تغییرات در سرخوشه‌ها از روش چند سرخوشه‌ای بهتر عمل کند. اگرچه همان‌طور که اشاره شد، به میزانی اندک، پاسخگویی به تغییرات ترافیک: تغییرات مکرر در سرخوشه‌ها می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که الگوریتم به شدت به تغییر شرایط ترافیک واکنش نشان می‌دهد و با الگوهای جدید در زمان ظهور سازگار می‌شود.
- پایداری خوشه‌ها: نرخ بالای تغییرات سرخوشه ممکن است به بی‌ثباتی در تشکیل خوشه اشاره کند که احتمالاً منجر به نتایج شبیه‌سازی نامنظم می‌شود.
- دقت نمایش خوشه: تغییرات موثر سرخوشه می‌تواند تضمین کند که مناسب‌ترین وسیله نقلیه همیشه پیش‌روی می‌کند و وضعیت فعلی و رفتار خوشه را به طور دقیق منعکس می‌کند.
- طول عمر خوشه مدت زمانی را که یک خوشه تشکیل شده و بدون انحلال یا ادغام با خوشه دیگری پایدار می‌ماند را بر حسب ثانیه اندازه‌گیری می‌کند. از تاثیرات این پارامتر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ثبات جریان ترافیک: طول عمر خوشه طولانی‌تر اغلب به الگوهای جریان ترافیک ثابت‌تری در آن خوشه دلالت می‌کند که شرایط ترافیکی پایدار را نشان می‌دهد.
- کارایی الگوریتم: خوشه‌هایی با طول عمر طولانی نیاز به محاسبات مجدد مکرر را کاهش می‌دهند و کارایی الگوریتمی را افزایش می‌دهند.
- تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌کننده: خوشه‌های طولانی مدت می‌توانند برای تحلیل پیش‌بینی‌کننده و برنامه‌ریزی ترافیک بلندمدت مؤثرتر باشند، زیرا روندهای ترافیکی پایدار را نشان می‌دهند.

USA, 2018, pp. 399-403, doi: 10.1109/SEC.2018.00053.

- [11] O. Baradia and L. Jalalaltamimi, "Stable Clustering Algorithms for VANETs: A Survey," *International Conference on Information Technology (ICIT)*, Amman, Jordan, 2023, pp. 637-642, doi: 10.1109/ICIT58056.2023.10226088.
- [12] M. K. Jabbar and H. Trabelsi, "A Review on Clustering in VANET: Algorithms, Phases, and Comparisons," *19th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*, Sétif, Algeria, 2022, pp. 444-451, doi: 10.1109/SSD54932.2022.9955850.
- [13] M. K. J. Alsabah, H. Trabelsi and W. Jerbi, "Survey on Clustering in VANET Networks," *18th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*, Monastir, Tunisia, 2021, pp. 493-502, doi: 10.1109/SSD52085.2021.9429353.
- [14] R. Adrian, S. Sulisty, I. W. Mustika and S. Alam, "MRV-M: A Cluster Stability in Highway VANET using Minimum Relative Velocity based on K-Medoids," *5th International Conference on Science and Technology (ICST)*, Yogyakarta, Indonesia, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICST47872.2019.9166290.
- [15] G. Khayat, C. X. Mavromoustakis, G. Mastorakis, J. M. Batalla, H. Maalouf and E. Pallis, "VANET Clustering Based on Weighted Trusted Cluster Head Selection," *International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*, 2020, pp. 623-628, doi: 10.1109/IWCMC48107.2020.9148339.
- [16] M. A. Islam, M. Hossen and M. F. Hossen, "Central Lane-based Life Time Routing Protocol in Vehicular Ad Hoc Network," *2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technology (ICAICT)*, 2020, pp. 359-363, doi: 10.1109/ICAICT51780.2020.9333500.
- [17] M. F. Hossen, M. A. Islam, M. Hossen and S. Saha, "Optical Network-based Clustering Hierarchy for Energy Efficiency in Vehicular Ad Hoc Network," *International Conference on Computer, Communication, Chemical, Materials and Electronic Engineering (IC4ME2)*, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/IC4ME247184.2019.9036655.
- [18] P. S. Hamedani and A. Rezazadeh, "A New Two Level Cluster-Based Routing Protocol for Vehicular Ad Hoc Network (VANET)," *UKSim-AMSS 20th International Conference on Computer Modelling and Simulation (UKSim)*, 2018, pp. 121-126, doi: 10.1109/UKSim.2018.00033.
- [19] S. Vergis, G. Tsoumanis and K. Oikonomou, "A Proposed Multi-Head Clustering Algorithm for VANET Environments," *6th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNM)*, Preveza, Greece, 2021, pp. 1-8,

در مقایسه طول عمر خوشه‌ها برای بدست آمدن خوشه‌های

منسجم‌تر، جریمه زمانی داشتیم.

## مراجع

- [1] A. Amirshahi, M. Romoozi, M. A. Raayatpanah, S. A. Asghari, "Modeling Geographical Anycasting Routing in Vehicular Networks," *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, vol. 14, no. 4, pp. 1624-1647, 2020. doi: 10.3837/tiis.2020.04.012.
- [2] Alireza Amirshahi, Morteza Romoozi, Mohammad Ali Raayatpanah, Seyyed Amir Asghari, "Anycast routing in time-expanded vehicular networks", *Computers & Electrical Engineering*, Volume 82, 2020, doi:10.1016/j.compeleceng.2020.106560.
- [3] M. A. Al-shareeda, M. A. Alazzawi, M. Anbar, S. Manickam and A. K. Al-Ani, "A Comprehensive Survey on Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs)," *International Conference on Advanced Computer Applications (ACA)*, Maysan, Iraq, 2021, pp. 156-160, doi: 10.1109/ACA52198.2021.9626779.
- [۴] مریم نبی‌لو، نگین دانشپور، «ارائه یک الگوریتم خوشه‌بندی برای داده‌های دسته‌ای با ترکیب معیارها»، نشریه علمی ترویجی محاسبات نرم، ۱(۵)، ۱۴-۲۵، اسفند ۱۳۹۵
- [۵] نگار صادق‌زاده، محبوبه شمسی، عبدالرضا رسولی کناری، «حاشیه‌نویسی تصویر با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی نیمه نظارتی طیفی»، نشریه علمی ترویجی محاسبات نرم، ۱(۳)، ۲۰-۳۵، شهریور ۱۳۹۳
- [۶] علی زاده‌ده‌بالایی، علیرضا باقری، حامد افشار، «بررسی مشکلات الگوریتم خوشه‌بندی DBSCAN و مروری بر بهبودهای ارائه‌شده برای آن»، نشریه علمی ترویجی محاسبات نرم، ۱(۶)، ۲-۳۷، ۱۳۹۶
- [7] B. Su and L. Tong, "Transmission Protocol of Emergency Messages in VANET Based on the Trust Level of Nodes," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 68243-68256, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3292234.
- [8] N. Khatri, S. Lee, A. Mateen and S. Y. Nam, "Event Message Clustering Algorithm for Selection of Majority Message in VANETs," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 14621-14635, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3244327.
- [9] H. N. Abdulrazzak, G. C. Hock, N. A. Mohamed Radzi and N. M. L. Tan, "A New Unsupervised Validation Index Model Suitable for Energy-Efficient Clustering Techniques in VANET," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 67540-67555, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3281302.
- [10] X. Cheng, B. Huang and W. Cheng, "Stable Clustering for VANETs on Highways," *IEEE/ACM Symposium on Edge Computing (SEC)*, Seattle, WA,

doi: 10.1109/SEEDA-CECNSM53056.2021.9566263.

- [20] M. K. Jabbar and H. Trabelsi, "A Betweenness Centrality Based Clustering in VANETs," *15th International Conference on Security of Information and Networks (SIN)*, Sousse, Tunisia, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/SIN56466.2022.9970553
- [21] H. Ferng and M. Abdullah, "Mobility-Based Clustering With Link Quality Estimation for Urban Vanets," *International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC)*, 2019, pp. 1-7, doi: 10.1109/ICMLC48188.2019.8949241
- [22] A. Abuashour and M. Kadoch, "Passive CH Election Avoidance Protocol and CH Routing Protocol In VANET," *IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData)*, 2018, pp. 1753-1758, doi: 10.1109/Cybermatics\_2018.2018.00292.
- [23] G. Khayat, C. X. Mavromoustakis, G. Mastorakis, J. M. Batalla, H. Maalouf, S. Mumtaz, Ev. Pallis, "Successful Delivery in VANETs with Damaged Infrastructures Based on Double Cluster Head Selection," *IEEE 25th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/CAMAD50429.2020.9209259.