مجله محاسبات نرم، جلد 14، شماره 2 (پاییز و زمستان 1404)، صفحه 38_53
https://doi.org/10.22052/scj.2024.254853.1241

مجله محاسبات نرم
SOFT COMPUTING JOURNAL
تارنمای مجله: scj.kashanu.ac.ir

دانشگاه کاشان
University of Kashan

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

رضا رسول‌زاده دارآباد[1]، کارشناسی ارشد، سید امیر اصغری توچائی[2*]، دانشیار، محمدرضا بینش مروستی[1]، دانشیار، کیمیا شاه‌بختی[1*]، دانشجوی کارشناسی ارشد

[1] گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

[2] گروه علوم و فناوری داده، دانشکده مهندسی سامانه‌های هوشمند، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
دریافت 8 اردیبهشت ماه 1403
پذیرش 21 آبان ماه 1403

کلمات کلیدی:
شبکه‌های میان‌خودرویی
خوشه‌بندی
سرخوشه
شاخص‌دهی فضایی
تغییرات سرخوشه
طول عمر

چکیده

شبکه‌های میان خودرویی، یکی از فناوری‌های درحال 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 مساله 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 مولفه اصلی بکار گرفته شده‌اند. در این مقاله قصد بر این است که با بکارگیری 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 وسیله نقلیه از آن عبور می‌کند، تعداد خوشه‌های ایجاد شده را حداقل 5/7 درصد بهبود داده شد. همچنین این الگوریتم توانست بهبودی 3/2 درصدی در تعداد تغییرات سرخوشه‌ها حاصل کند.

© 1403 نویسندگان. مقاله با دسترسی آزاد تحت مجوز CC-BY

1. 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 ردوبدل 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

✧ نوع مقاله: پژوهشی
* نویسنده مسئول
پست(های) الکترونیک: rezarasoulzade@khu.ac.ir (رسول‌زاده دارآباد)
s.a.asghari@ut.ac.ir (اصغری توچائی)
marvasti@khu.ac.ir (بینش مروستی)
kimiyashahbakhti@khu.ac.ir (شاه‌بختی)

نحوه ارجاع به مقاله: رضا رسول‌زاده دارآباد، سید امیر اصغری توچائی، محمدرضا بینش مروستی، کیمیا شاه‌بختی، «ارائه یک روش خوشه‌بندی پویای چندسطحی وزن‌دار آگاه بر شاخص‌دهی فضایی در شبکه‌های میان‌خودرویی»، مجله محاسبات نرم، جلد 14، شماره 2، ص38_53، پاییز و زمستان 1404.

کار می‌روند [1]. اطلاعات به دست آمده از این شبکه‌ها در حوزه‌های مختلفی مانند نظارت بر محیط، ناوبری هوشمند، پایش ترافیک، ایمنی حمل‌ونقل و کمک به رانندگان کاربرد دارد [2]. هر اطلاعاتی که در یکی از این گره‌ها وجود داشته باشد به دیگر گره‌ها نیز منتقل می‌شود. به صورت 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 بدین صورت است که گره‌ها می‌توانند به صورت آزادانه وارد این شبکه‌ها شوند و از آن خارج شوند.

وسایل نقلیه امروزه با یکسری واحدهای روی تراشه‌ای وارد بازار می‌شوند تا به راحتی بتوانند به این شبکه‌ها وارد شوند و از فواید شبکه‌های میان‌خودرویی بهره‌مند شوند [3]. 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 [3]. 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 [4]- [6].

شبکه‌های میان‌خودرویی[1] یکی از فناوری‌های نوظهور و نام‌آشنا در سیستم‌های حمل و نقل هوشمند[2] 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[3] 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 [7]. 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 ارسال همزمان پیام‌های ایمنی (مانند اطلاعات تصادفات) و پیام‌های غیرایمن (پیام‌های بیکن) با یکدیگر تعامل می‌کنند [8].

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[4] 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 [9]. شبکه‌های میان‌خودرویی می‌توانند با این خصوصیت‌ها دسته‌بندی شوند که مهم‌ترین آنها عبارتند از توپولوژی پویا، اتصال متناوب، الگوهای سیار و فضای ذخیره‌سازی و انرژی نامحدود [10].

چالش‌های متعددی در شبکه‌های میان‌خودرویی وجود دارد. این چالش‌ها می‌توانند به عنوان زمینه پژوهش در آینده دیده شوند. برخی از این چالش‌ها شامل پویایی شبکه، مدیریت اطلاعات و فضا، امنیت و حریم اطلاعات، کیفیت خدمات، استانداردسازی هستند [11].

[1] Vehicular Ad-hoc Networks
[2] Intelligent Transportation System
[3] Emergency Message
[4] V2X

اجـزای اصـلی الگـوریتم‌هـای خوشـه‌بندی در شـبکه‌های میان‌خودرویی شامل الگوریتم‌های تشکیل خوشه، الگوریتم‌های انتخاب سرخوشه[1] و الگوریتم‌هـای نگهـداری پویـا از خوشـه هستند [12]. الگوریتم‌های خوشه‌بندی مختلفی برای شبکه‌های میان‌خودرویی با در نظر گرفتن عواملی ماننـد تـراکم خـودرو، الگوهای تحرک، محدوده ارتبـاطی و کـارایی انـرژی پیشـنهاد شده‌اند. در نتیجه، خوشه‌بندی در شبکه‌های میان‌خودرویی یک تکنیک حیاتی بـرای افـزایش کـارایی و قابلیت‌هـای ارتبـاطی شبکه‌های خودرویی است. خوشه‌بندی شبکه‌های میان‌خودرویی با سازمان‌دهی وسایل نقلیه در خوشه‌ها و بکارگیری سرخوشه‌ها، مقیاس‌پذیری، قابلیت اطمینان، مدیریت منابع را بهبود می‌بخشد و دامنه ارتباطـات را گسـترش می‌دهـد. اتخـاذ الگوریتم‌هـا و پروتکل‌های خوشه‌بندی مناسب می‌تواند به طور قابل‌توجهی به توسعه سیستم‌های میان‌خودرویی کارآمد و قابل اعتماد کمـک نموده و تحقق سیستم‌های حمل‌ونقل ایمن و هوشمند در آینده را تقویت کند [13].

پروتکل‌های ارتباطی گونـاگونی در شـبکه‌های میـان‌خودرویی مورد استفاده قرار می‌گیرند. پروتکل‌های ارتباطی بکار رفته در خوشه‌های شبکه‌های میان‌خودرویی، ازجمله مکانیزم‌های انتشار اطلاعات، تجمیع داده‌ها و کنترل خطا قابل بررسـی می‌باشـند. تاثیر این پروتکل‌ها را بر کاهش هزینه‌های ارتباطی و افـزایش تبادل اطلاعات نیز قابل ارزیابی می‌باشد. استراتژی ارتباط بـین خوشه‌ای برای فعال کردن همکاری بین خوشه‌ها قابل بررسـی می‌باشد. ارزیابی اثربخشی پروتکل‌ها در مدیریت سـناریوهایی که در آن اطلاعات باید بین خوشه‌های مجاور به اشتراک گذاشته شود نیز قابلیت کار دارد [14].

در روش پیشنهادی، جـاده بـا اسـتفاده از روش شـاخص‌دهی فضایی به چند قسمت تقسیم می‌شود. سـپس جهـت حرکـت وسایل نقلیه به عنوان معیار اولیه هم‌خوشه شدن انتخاب می‌شود تا وسایل نقلیه‌ای که در جهت مخالف حرکت می‌کنند، در یک خوشه قرار نگیرند. در ادامه با درنظر گرفتن نسبت‌های فاصله، سرعت و شتاب وسایل‌نقلیه، خوشه‌ها را تشکیل می‌دهنـد. در نهایت با بهره‌گیری از پارامترهـای سـرعت، موقعیـت مکـانی، شتاب، تعداد همسایگان و محور حرکتی وسایل نقلیه در یـک جاده، وسیله نقلیه با بالاترین صـلاحیت بـه عنـوان سرخوشـه انتخاب می‌شود. وضعیت وسایل نقلیه سرخوشه مدام بررسـی 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 بـرای سرخوشـه شدن باشد، زیرا هم می‌تواند همسایگان بیشتری را پوشش دهد و هم احتمال اینکه از مسیر خارج شود کمتر است. این مـورد یکی از نوآوری‌های این مقاله می‌باشـد. همچنـین می‌تـوان بـه درجه گراف اتصال آنها به عنـوان متغیـر جدیـد، اشـاره کـرد. همچنین این روش بررسی می‌کند که وسایل نقلیه‌ای که قـرار است هم‌خوشه شوند در جهت‌های مخالف حرکت نکننـد. در واقع الگوریتم خوشه‌بندی پیشنهادی جلـوی هم‌خوشـه شـدن وسایل نقلیه‌ای کـه در جهـت مخـالف در حرکـت هسـتند را می‌گیرد، زیرا انتظار می‌رود این وسایل نقلیه بعد از مدت اندکی فاصله بسیار زیادی از هم گرفته باشند.

ادامه مقاله به این شکل سازماندهی شده است. در بخش دوم، به مرور مقالات و روش‌های گذشته می‌پردازیم. در بخش سـوم، الگوریتم خوشه‌بندی چندسطحی پویا با آگاهی فضـایی شـرح داده شـده اسـت. در بخـش چهـارم، الگـوریتم پیشـنهادی بـا روش‌های چندسرخوشه‌ای و مبتنی بـر طـول عمـر، از لحـاظ طـول‌عمر خوشـه‌ها، تعـداد تغییـرات در سرخوشـه و تعـداد خوشه‌های ایجاد شده مقایسه شده است و در بخش پنجم نتایج حاصل از این مقایسه‌ها تشریح شده است.

2. مروری بر مطالعات گذشته

در این بخش، روش‌ها و تکنیک‌های موجود برای خوشه‌بندی در شبکه‌های میان‌خودرویی مورد بررسی قرار می‌گیرند. سـرعت، موقعیت و جهت از عامل‌هـای اصـلی مـورد اسـتفاده در ایـن پروتکل‌ها می‌باشند. در ادامه به بررسی جزئـی‌تـر هـر بخـش

[1] Cluster Head

پرداخته می‌شود.

Khayat و همکاران در سال 2020 [15]، یک روش خوشه‌بندی جدید بر اساس انتخاب سرخوشه مورد اعتماد وزنی در شبکه‌های میان‌خودرویی پیشنهاد داده‌اند. در این روش الگوریتم خوشه‌بندی برای محاسبه احتمال انتخاب یک گره به عنوان سرخوشه معرفی شده است. همچنین، در روش معرفی شده سه متغیر اصلی فاصله، سرعت و اطمینان دخیل می‌باشند. فاصله در این روش به عنوان 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 به عنوان سرخوشه خواهد داشت. متغیر دوم اعتماد است. مقدار اعتماد یک ایده جدید در رویکردهای انتخاب سرخوشه می‌باشد. این مقدار نمایانگر کارایی گره مورد نظر است. در صورتی که گره همکار باشد، بسته‌ها را با کم‌ترین تاخیر ارسال می‌کند، اما اگر همکار نباشد، در روند انتشار بسته‌ها به مقصد، تاخیر ایجاد می‌کند. مقدار اعتماد برای گره‌های همکار بیشتر است. متغیر سوم در محاسبه احتمال انتخاب گره به عنوان سرخوشه، سرعت است. سرعت در این رابطه به علت تاثیری که بر تاخیر انتشار دارد، در نظر گرفته شده است.

در مطالعه‌ای دیگر که توسط Islam و همکاران در سال 2020 منتشر شده است [16]، یک پروتکل مسیریابی 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 موثر 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.

Hossen و همکاران در سال 2019 [17]، 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 فیبرنوری به ایستگاه پایه وایمکس متصل می‌شود.

در مطالعه‌ای دیگر که توسط Hamedani و Rezazadeh در سال 2018 منتشر شده است [18]، 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 میان خودرویی برای کاهش مشکل شکست پیوند معرفی شده است. استفاده از مسیریابی دوسطحی، 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 مساله 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 پیش از این 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 راه‌حل استفاده می‌شود. این الگوریتم انتخاب‌های خود را بر اساس اطلاعات محلی انجام می‌دهد.

Vergis و همکاران در سال 2021 [19]، الگوریتم خوشه‌بندی چندسرخوشه‌ای را معرفی کرده‌اند که در این روش ارتباط به صورت خودرو به خودرو[1] 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[2] و یک آنتن رادیویی برای

[1] Vehicle to Vehicle (V2V)
[2] Global Positioning System (GPS)

برقراری ارتباط می‌باشد. به محض ورود یک وسیله نقلیه به شبکه جاده‌ای، الگوریتم شروع به کار می‌کند.

در مطالعه‌ای دیگر در سال 2022 [20]، 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. وسیله نقلیه‌ای 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 ایده‌آل برای انتخاب شدن به عنوان سرخوشه تبدیل می‌کند.

در مطالعه‌ای دیگر در سال 2019 [21]، یک روش خوشه‌بندی مبتنی بر تحرک با تخمین کیفیت پیوند برای شبکه‌های میان‌خودرویی شهری معرفی شده است 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 به‌روز می‌کند و کیفیت پیوند را مجدد 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. 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 2018 [22]، یک پروتکل منفعل اجتناب از انتخابات سرخوشه پیشنهاد شده است که در آن انتخاب مکرر سرخوشه، عمدتا سربار کنترل خوشه‌ای را افزایش می‌دهد و توان عملیاتی موجود در شبکه را کاهش می‌دهد. سربار کنترل خوشه‌ای بالا بر عملکرد شبکه تاثیر 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 پیش از این 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 تاثیر مستقیم بلایای طبیعی است. در مقاله [23] که توسط Khayat و همکاران در سال 2020 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 n و m هردو در یک خوشه قرار گیرند.
- وسایل نقلیه n و m در دو خوشه متفاوت قرار گیرند.

در حالتی 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 زیرساختی 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 به علت 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 به عنوان سرخوشه ثانویه انتخاب می‌شوند. در نتیجه این پروتکل، ما یک شبکه میان‌خودرویی با یک ارتباط نظیر به نظیر تضمین شده و بدون نیاز به زیرساخت کنار جاده‌ای خواهیم داشت. در جدول (1)، روش‌های معرفی شده از نظر تعداد سرخوشه، تعداد خوشه و طول عمر مقایسه شده‌اند.

3. 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 با هدف 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 بکار می‌گیرد. در زمینه شبکه‌های میان‌خودرویی پیچیده‌تر، نیاز مبرمی به تکنیک‌های محاسباتی وجود دارد که بتواند داده‌های ترافیک را به طور کارآمد مدیریت و تجزیه‌وتحلیل کند. مدل‌های سنتی اغلب با ماهیت پویا و لایه‌ای شبکه‌های میان‌خودرویی دست و پنجه نرم می‌کنند. روش پیشنهادی ما این چالش‌ها را از طریق یک رویکرد نوآورانه برای خوشه‌بندی آگاهانه فضایی در سیستم‌های ترافیکی برطرف می‌کند. هرچند با وجود اهمیت بالای طول‌عمر خوشه‌های ایجاد شده، این روش مقداری از این مورد صرف نظر کرده و بیشتر به هم‌بستگی بالاتر خوشه‌ها اهمیت می‌دهد.

جدول (1): مقایسه روش‌های معرفی شده

الگوریتم	تعداد سرخوشه	تعداد خوشه	طول عمر
خوشه‌بندی مبتنی بر مرکزیت واسط در شبکه‌های بی‌سیم اتومبیلی همگانی [20]	×	×	23 ثانیه
الگوریتم خوشه‌بندی چندسرخوشه‌ای برای شبکه‌های خودرویی [19]	250	40	16 ثانیه
الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر تحرک با برآورد کیفی لینک برای شبکه‌های میان‌خودرویی شهری [21]	×	×	47 ثانیه
مسیریابی مبتنی بر مسیر مرکزی با عمر مفید در شبکه‌های بی‌سیم اتومبیلی همگانی [16]	50	35	14 ثانیه
پروتکل اجتناب از انتخاب سرخوشه غیرفعال و مسیریابی سرخوشه در شبکه‌های میان‌خودرویی [22]	×	40	×

1.3. ابزارهای شبیه‌سازی

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

برای تولید مدل حرکتی، از ابزار سومو[1] که برای شبیه‌سازی جاده‌ها و مسیرهای شهری طراحی شده است، استفاده کرده‌ایم. همچنین از اوپن استریت مپ[2] 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 به صورت بلادرنگ اطلاعات مربوط به شبیه‌سازی را دریافت کرده و روی آن کار می‌کنیم. هدف این است که ابتدا با کمک الگوریتم ارائه شده خوشه‌بندی مناسبی را انجام داده و سپس به تعیین سرخوشه مناسب پرداخته شود. در انتها نیز با کمک ابزارهای نام‌پای[3] و مت‌پلات[4] به ترسیم نمودارهای شبیه‌سازی پرداخته خواهد شد.

2.3. 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 وسایل‌نقلیه را بر اساس نزدیکی جغرافیایی و الگوهای حرکتی خوشه‌بندی می‌کند و کارایی محاسباتی را افزایش می‌دهد.
- انتخاب سرخوشه مبتنی بر محاسبات وزنی: این الگوریتم سر خوشه‌ها 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 به طور 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 بر اساس مجاورت و هم‌جهت بودن وسایل نقلیه می‌باشد. به عنوان 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 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 وسایل‌نقلیه است، بنابراین خوشه‌هایی را تشکیل می‌دهد که احتمالا 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 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.

3.3. طراحی الگوریتم پیشنهادی

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

[1] SUMO
[2] OpenStreetMap
[3] NumPy
[4] Matplot

مرحله اول، شکل‌دهی اولیه خوشه است. گام اولیه ایجاد شاخص‌های فضایی مناسب برای شبکه جاده‌ای می‌باشد. الگوریتم با ارزیابی موقعیت و جهت هر وسیله نقلیه ادامه می‌یابد. اگر دو وسیله نقلیه 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. متعاقبا، الگوریتم شتاب نسبی وسایل نقلیه را در زیرخوشه‌های 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.

4.3. 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 موثر 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 شبه‌کد ارائه شده در الگوریتم (1)، فرآیند شاخص‌دهی فضایی و تقسیم شبکه جاده‌ای صورت می‌پذیرد.

الگوریتم (1): شاخص‌دهی فضایی

ورودی: شاخص فضایی و اطلاعات وسایل نقلیه

خروجی: شاخص فضایی بروزرسانی شده

1. 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، با هم 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 مشخص‌شده 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. شبه‌کد فرآیند خوشه‌بندی در الگوریتم (2) آورده شده است.

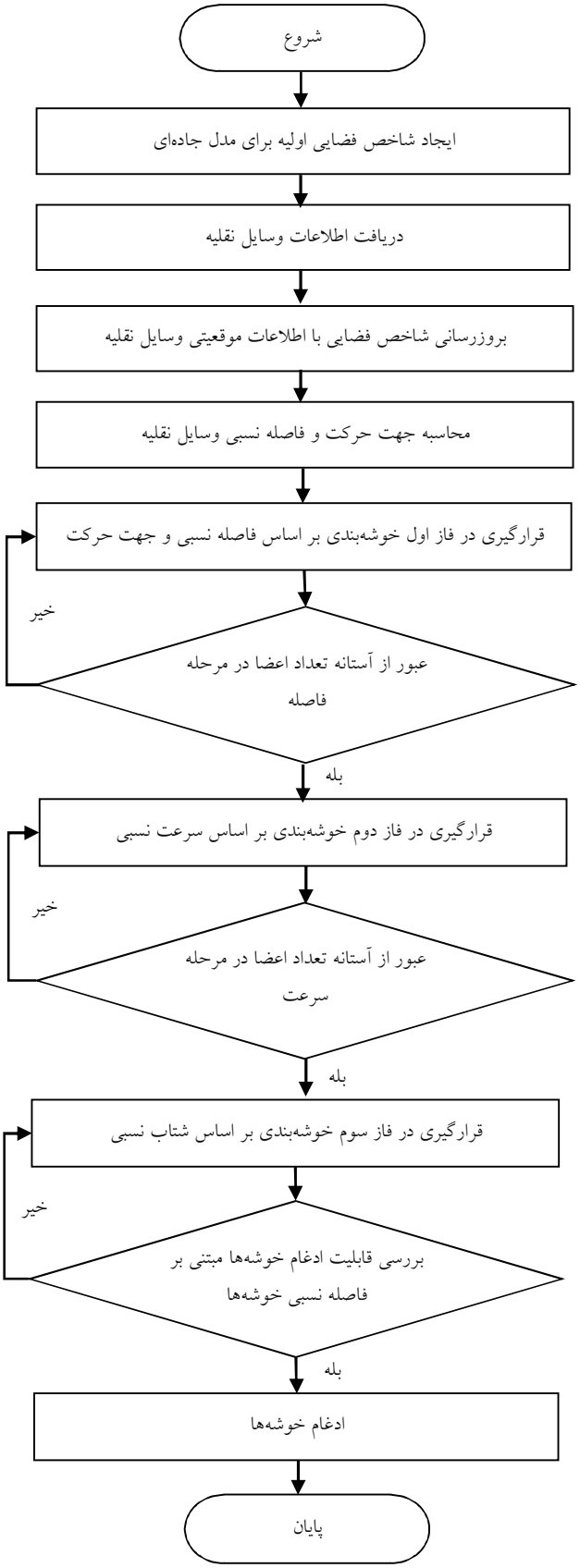
الگوریتم (2): الگوریتم خوشه‌بندی

ورودی: مجموعه وسایل نقلیه حاضر در شبیه‌سازی، آستانه‌های سرعت، شتاب و موقعیت مکانی

خروجی: مجموعه خوشه‌های تشکیل شده

1. خوشه‌بندی اولیه براساس جهت و مکان
2. بررسی هم‌جهت بودن و حضور در فاصله مناسب
3. بررسی شرط تعداد اعضا در خوشه اولیه
4. ورود به مرحله دوم خوشه‌بندی در صورت عبور از آستانه
5. خوشه‌بندی دوم براساس سرعت
6. بررسی برخورداری از سرعت نسبی متناسب
7. ورود به مرحله سوم خوشه‌بندی در صورت عبور از آستانه
8. خوشه‌بندی سوم براساس شتاب
9. بررسی برخورداری از شتاب نسبی متناسب

نمودار جریان این الگوریتم بر اساس شکل (1) 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.



شکل(1). نمودار جریان الگوریتم خوشه‌بندی

5.3. توصیف الگوریتم انتخاب سرخوشه

در الگوریتم پیشنهادی برای انتخاب سرخوشه مناسب، هدف اصلی انتخاب وسیله نقلیه با مرکزیت مکانی بیشتر، اتصال به وسایل‌نقلیه 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:

- 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 بالا، فرمول خطی وزن‌دار انتخاب سرخوشه را به صورت زیر شرح می‌دهیم. متغیرهای زیر را در نظر می‌گیریم:

- متغیر V_i بیانگر سرعت وسیله قلیه 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 وسیله نقلیه می‌باشد. این متغیر دو مقدار 0 و 1 را می‌پذیرد. اگر وسیله نقلیه در محور مرکزی باشد مقدار 1 و در غیر این صورت مقدار آن 0 خواهد بود.
- متغیر N_i بیانگر تعداد همسایگان وسیله نقلیه می‌باشد.

امتیاز وسیله نقلیه i برای انتخاب به عنوان سرخوشه با کمک فرمول خطی وزن‌دار آورده شده در رابطه (1) محاسبه می‌شود:

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

در فرمول بالا، ضریب‌های w_1، w_2، w_3، w_4 و w_5 وزن‌های اختصاص داده شده به هر عامل می‌باشند و مقدار ε مقداری ناچیز برای جلوگیری از تقسیم بر صفر است. وسیله نقلیه با بیشترین مقدار S_i به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. ضرایب وزنی باید بر اساس اهمیت هر کدام از عامل‌های درگیر در فرمول انتخاب شوند. برای مثال حالت زیر را در نظر می‌گیریم:

- ضرایب w_1 و w_2 باید به نسبت مقدار کوچک‌تری داشته باشند، زیرا ترجیح بر این است که وسایل نقلیه با سرعت و شتاب کمتر، شانس بیشتری برای انتخاب شدن داشته باشند. همچنین اهمیت این دو عامل به نسبت فاصله کمتر 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 می‌باشد. این عامل به عنوان یک شاخص امتیازی برای وسیله نقلیه در نظر گرفته شده است. مقدار این ضریب باید قابل توجه باشد تا تاثیر حضور در محور مرکزی جاده را پررنگ کند.
- ضریب w_5 باید نسبتی میانگین داشته باشد تا بتواند بدون

ایجاد تداخل در دیگر عامل‌ها تاثیر متقابل تعداد همسایگان را ایجاد کند.

برای عملکرد بهتر این الگوریتم، از نرمال‌سازی عامل‌های حاضر در فرمول استفاده می‌کنیم. این عملکرد باعث می‌شود که مقادیر به دست آمده که در مقیاس‌های مختلفی می‌باشند، به یک مقیاس مشترک برسند. به این ترتیب تضمین می‌شود که هر عامل به صورت متناسب در به دست آمدن امتیاز نهایی صحیح‌تر کمک کند. در ادامه نرمال‌سازی در نظر گرفته شده برای هر کدام از این عامل‌ها را تشریح می‌کنیم:

- نرمال‌سازی سرعت و شتاب: می‌توان سرعت و شتاب هر وسیله نقلیه را با تقسیم بر حداکثر سرعت و شتاب مشاهده شده در خوشه مدنظر نرمال‌سازی کرد.
- نرمال‌سازی فاصله: می‌توان 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 1 برای به دست آوردن فاصله کمتر نرمال‌سازی کرد.
- نرمال‌سازی تعداد همسایگان: می‌توان تعداد همسایگان را با تقسیم تعداد همسایگان وسیله نقلیه بر حداکثر تعداد همسایگان مشاهده شده در خوشه نرمال‌سازی کرد.

به این ترتیب، پس از نرمال‌سازی، هر عامل مقداری بین 0 و 1 خواهد داشت. نزدیک بودن به مقدار 0 نشان‌دهنده حداقل شرایط مطلوب برای انتخاب سرخوشه و نزدیک بودن به 1 نشان‌دهنده حداکثر شرایط مطلوب برای انتخاب به عنوان سرخوشه می‌باشد. مقادیر نرمال‌سازی شده را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

- $\hat{S}_i$: سرعت نرمال‌سازی شده وسیله نقلیه i
- $\hat{A}_i$: شتاب نرمال‌سازی شده وسیله نقلیه i
- $\widehat{D}_i$: فاصله میانگین نرمال‌سازی شده وسیله نقلیه i نسبت به دیگر وسایل نقلیه حاضر در خوشه
- $\widehat{N}_i$: تعداد همسایگان نرمال‌سازی شده وسیله نقلیه i
- L_i بیانگر محور حرکت وسیله نقلیه می‌باشد. این متغیر دو مقدار 0 و 1 را می‌پذیرد. اگر وسیله نقلیه در محور مرکزی باشد مقدار 1 و در غیر این صورت مقدار آن برابر با 0 خواهد بود.

امتیاز نرمال‌سازی شده بر اساس رابطه (2) محاسبه می‌شود.

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

در اینجا سرعت و شتاب نرمال‌سازی شده را از 1 کم می‌کنیم زیرا سرعت و شتاب کمتر برای سرخوشه ترجیح داده می‌شود. مقدار L_i نیازی به نرمال‌سازی ندارد، زیرا در حال حاضر یک مقدار باینری است. در ادامه باید روند نرمال‌سازی را برای در نظر گرفتن اهمیت فواصل کوچک‌تر تنظیم کنیم. یک رویکرد متداول برای نرمال‌سازی فواصل به طوری که مقادیر کوچک‌تر نمرات بالاتری را به همراه داشته باشد، معکوس کردن نسبت پس از نرمال‌سازی است. این امر را می‌توان با کم کردن مقدار نرمال شده از 1 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 0 و 1 هستند. برای مقدار فاصله نرمال‌سازی شده $\widehat{D}_i$، از رابطه (3) استفاده می‌کنیم.

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

در نهایت، فرمول وزنی نرمال‌سازی شده مطابق الگوریتم (3) است. نمودار جریان این فرآیند به صورت شکل (2) می‌باشد.

6.3. نگهداری مناسب از خوشه‌ها

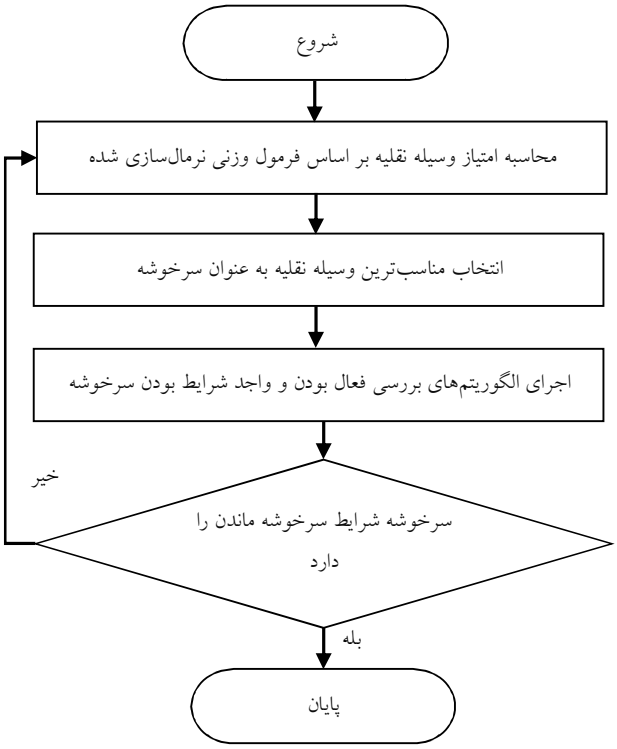
نگهداری خوشه یکی از جنبه‌های حیاتی الگوریتم‌های خوشه‌بندی در شبکه‌های میان‌خودرویی است، زیرا پایداری و کارایی طولانی مدت شبکه را تضمین می‌کند. فرآیند تعمیر و نگهداری به طور معمول شامل بازبینی و تنظیم ساختار خوشه‌ای به منظور در نظر گرفتن ماهیت پویای شبکه‌های میان‌خودرویی است.

الگوریتم (3): الگوریتم انتخاب سرخوشه

ورودی: وسایل نقلیه حاضر در خوشه و ضرایب وزنی

خروجی: سرخوشه منتسب خوشه

1. پیدا کردن سرعت بیشینه درون خوشه
2. پیدا کردن شتاب بیشینه درون خوشه
3. پیدا کردن فاصله بیشینه درون خوشه
4. پیدا کردن تعداد همسایگان بیشینه درون خوشه
5. انتساب دو متغیر بیشترین امتیاز و سرخوشه با مقدار صفر و null
6. شروع حلقه (پیمایش وسایل نقلیه)
7. محاسبه مقادیر نرمال‌سازی شده برای وسیله
8. اعمال ضرایب وزنی و محاسبه امتیاز با فرمول وزنی
9. مقایسه با مقدار بیشترین امتیاز (مقدار اولیه صفر)
10. شرط: در صورت بیشتر بودن از متغیر بیشترین امتیاز مقدار بازنویسی می‌شود.
11. معرفی سرخوشه با پایان حلقه



شکل (2): نمودار جریان انتخاب سرخوشه

در اینجا چندین مولفه کلیدی وجود دارد که باید در استراتژی نگهداری خوشه گنجانده شود. این مولفه‌ها عبارتند 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 بهینه‌سازی پایداری خوشه.

4. ارزیابی و مقایسه روش پیشنهادی

در این بخش قصد داریم به بررسی نتایج به دست 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 (3) تشریح شده‌اند. نتایج به دست آمده از روش‌هایی که با الگوریتم این پژوهش در مقایسه هستند را در قالب این پارامترها بررسی می‌کنیم. در انتها مقادیر به دست 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 ایجاد شده، تعداد تغییرات سرخوشه و طول عمر با روش‌های مطرح شده در بخش‌های 2.2 و 5.2 مقایسه شده است. در جدول (2)، نتایج حاصل از این مقایسه‌ها نشان داده می‌شود.

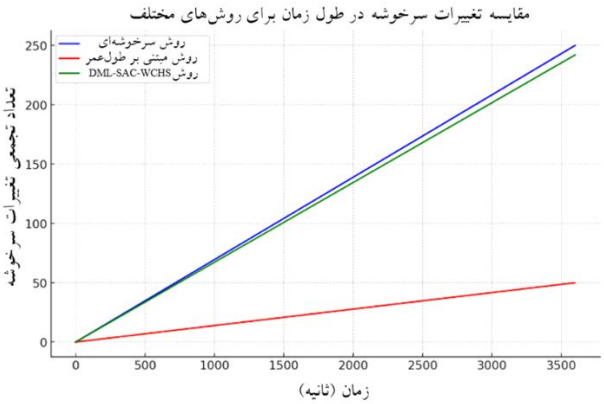
جدول (2): مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های طول عمر و چند سرخوشه‌ای

الگوریتم	طول عمر	تعداد تغییرات سرخوشه	تعداد خوشه‌های ایجاد شده
روش چند سرخوشه‌ای	16	250	40
روش مبتنی بر طول عمر	14	50	35
روش پیشنهادی	8	242	33

جدول (3): معرفی پارامتر های فرمول خطی وطن دار امتیاز دهی به وسایل نقلیه

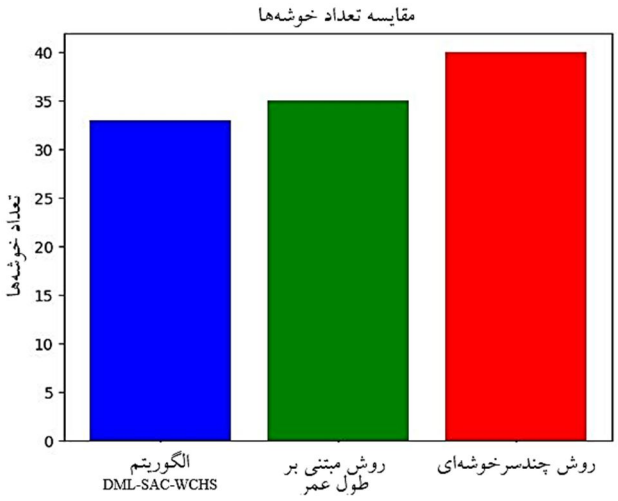
پارامتر	مقدار	توضیحات
تعداد وسیله نقلیه	100	به صورت کاملا تصادفی
سرعت اولیه	تصادفی	از آستانه 90 کیلومتر در ساعت تجاوز نخواهد کرد
شتاب اولیه	تصادفی	از آستانه 90 کیلومتر در ساعت تجاوز نخواهد کرد
آستانه w_1 برای سرعت	0/5	سعی شده است به فاصله که یکی از اصلی‌ترین معیارها می‌باشد وزن بیشتری داده شود (w_3). سرعت (w_1)، تعداد همسایگان (w_5) و حضور در لاین وسط (w_4) از وزن مشابهی برخوردار هستند. متغیر شتاب که بیشتر برای پیش‌بینی استفاده می‌شود، وزن کمتری دارد (w_2).
آستانه w_2 برای شتاب	0/4	
آستانه w_3 برای فاصله	0/6	
آستانه w_4 برای حضور یا عدم حضور در مرکزیت جاده	0/5	
آستانه w_5 برای تعداد همسایگان	0/5	

همان‌طور که مشاهده می‌شود، روش DML-SAC-WCHS از هر دو روش دیگر، از نظر تعداد خوشه‌های ایجاد شده 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 (3)، هر سه روش اشاره شده از لحاظ تغییرات سرخوشه مقایسه شده‌اند.

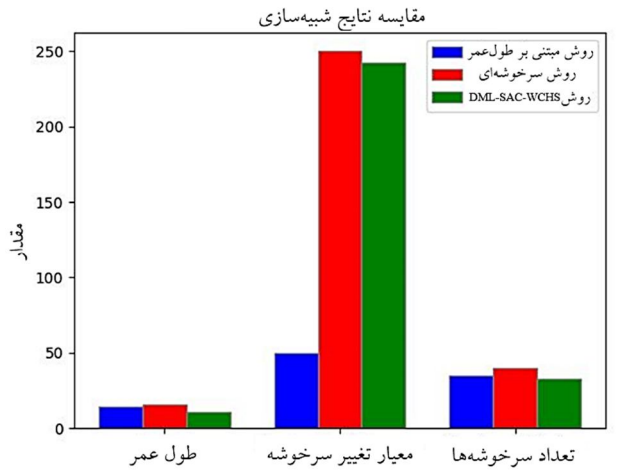


شکل (3): مقایسه تعداد تغییرات سرخوشه

در شکل (4)، هر سه روش از لحاظ تعداد خوشه‌های ایجاد شده مقایسه شده‌اند. در نهایت، هر سه روش به صورت جامع در شکل (5) با یکدیگر مقایسه شده‌اند. لازم به ذکر است که واحد محور عمودی برای هر ستون، به ترتیب از راست به چپ، تعداد، تعداد و ثانیه می‌باشد.



شکل (4): مقایسه تعداد خوشه‌های ایجاد شده



شکل (5): مقایسه جامع سه روش

با توجه به نتایج نمایش داده شده، الگوریتم پیشنهادی توانسته است از لحاظ تعداد خوشه‌های ایجاد شده به مقدار 17/5 درصد نسبت به روش چندسرخوشه‌ای و به مقدار 5/7 درصد نسبت به روش طول عمر بهتر عمل کند. همچنین از لحاظ تغییر سرخوشه‌ها به مقدار 3/2 درصد نسبت به روش چندسرخوشه‌ای بهتر عمل کرده‌است.

در الگوریتم خوشه‌بندی چندسطحی با آگاهی فضایی پویا با انتخاب سرخوشه وزنی (DML-SAC-WCHS)، پارامترهای متعددی بر عملکرد الگوریتم و دقت شبیه‌سازی ترافیک تاثیر حیاتی دارند. این بخش به سه پارامتر از این قبیل می پردازد: تعداد خوشه‌ها، تعداد تغییرات سرخوشه و طول عمر خوشه. درک تاثیر این پارامترها برای بهینه‌سازی الگوریتم و دستیابی به شبیه‌سازی‌های ترافیک واقعی ضروری است.

تعداد خوشه‌ها به تعداد کل خوشه‌بندی وسایل نقلیه متمایز تشکیل شده در شبیه‌سازی ترافیک در هر زمان معین اشاره دارد. از تاثیرات این پارامتر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- خوشه‌بندی شبیه‌سازی: تعداد بیشتر خوشه‌ها به طور معمول نشان‌دهنده خوشه‌بندی دقیق‌تری در شبیه‌سازی است که امکان تجزیه و تحلیل دقیق‌تر الگوهای ترافیک را فراهم می‌کند. از طرفی دیگر، ایجاد خوشه‌های کمتر، اما منسجم‌تر نیز می‌تواند 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 می‌توانند 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:

- 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 سرخوشوشه ممکن است به بی‌ثباتی در تشکیل خوشه اشاره کند که احتمالا 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 موثرتر باشند، زیرا روندهای ترافیکی پایدار را نشان می‌دهند.

5. نتیجه‌گیری

دستیابی به تعادل در این معیارها برای یک شبکه میان‌خودرویی کارآمد و پایدار بسیار مهم است. در حالی که 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 تشکیل شده 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 به صورت 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 چندسرخوشه‌ای بهتر عمل کند. اگرچه همان‌طور که اشاره شد، به میزانی اندک، در مقایسه طول‌عمر خوشه‌ها برای به دست آمدن خوشه‌های منسجم‌تر، جریمه زمانی داشتیم.

تعارض منافع: نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ تعارض منافعی ندارند.

مراجع

[1] A. Amirshahi, M. Romoozi, M. A. Raayatpanah, and S. A. Asghari, "Modeling Geographical Anycasting Routing in Vehicular Networks," KSII Trans. Internet Inf. Syst., vol. 14, no. 4, pp. 1624-1647, 2020, doi: 10.3837/tiis.2020.04.012.

[2] A. Amirshahi, M. Romoozi, M. A. Raayatpanah, and S. A. Asghari, "Anycast Routing in Time-Expanded Vehicular Networks," Comput. Electr. Eng., vol. 82, p. 106560, 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)," in Proc. Int. Conf. Adv. Comput. Appl. (ACA), Maysan, Iraq, 2021, pp. 156-160, doi: 10.1109/ACA52198.2021.9626779.

[4] M. Nabilou and N. Daneshpour, "A Clustering Algorithm for Categorical Data with Combining Measures," Soft Comput. J., vol. 5, no. 1, pp. 14-25, 2017 [In Persian].

[5] N. Sadeghzadeh, M. Shamsi, and A. Rasouli Kenari, "Image Annotation Using a Semi-Supervised Spectral Clustering Algorithm," Soft Comput. J., vol. 3, no. 1, pp. 20-35, 2014, dor: 20.1001.1.23223707.1393.3.1.55.6 [In Persian].

[6] A. Zadedehbalaei, A. Bagheri, and H. Afshar, "A Study on DBSCAN Clustering Algorithm Issues and a Survey on its Improvements," Soft Comput. J., vol. 6, no. 1, pp. 2-37, 2017 [In Persian].

[7] B. Su and L. Tong, "Transmission Protocol of Emergency Messages in VANET Based on the Trust Level of Nodes," 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," IEEE Access, vol. 11, pp. 14621-14635, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3244327.

[9] H. N. Abdulrazzak, G. C. Hock, N. A. M. Radzi, and N. M. L. Tan, "A New Unsupervised Validation Index Model Suitable for Energy-Efficient Clustering Techniques in VANET," 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," in Proc. IEEE/ACM Symp. Edge Comput. (SEC), Seattle, WA, USA, 2018, pp. 399-403, doi: 10.1109/SEC.2018.00053.

[11] O. Baradia and L. Jalalaltamimi, "Stable Clustering Algorithms for VANETs: A Survey," in Proc. Int. Conf. Inf. Technol. (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," in Proc. 19th Int. Multi-Conf. Syst. Signals Devices (SSD), Setif, 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," in Proc. 18th Int. Multi-Conf. Syst. Signals Devices (SSD),

Monastir, Tunisia, 2021, pp. 493-502, doi: 10.1109/SSD52085.2021.9429353.

[14] R. Adrian, S. Sulistyo, I. W. Mustika, and S. Alam, "MRV-M: A Cluster Stability in Highway VANET using Minimum Relative Velocity based on K-Medoids," in Proc. 5th Int. Conf. Sci. Technol. (ICST), Yogyakarta, Indonesia, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICST47872.2019.9166290.

[15] G. Khayat et al., "VANET Clustering Based on Weighted Trusted Cluster Head Selection," in Proc. Int. Wireless Commun. Mobile Comput. (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," in Proc. 2nd Int. Conf. Adv. Inf. Commun. Technol. (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," in Proc. Int. Conf. Comput. Commun. Chem. Mater. Electron. Eng. (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)," in Proc. UKSim-AMSS 20th Int. Conf. Comput. Model. Simul. (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," in Proc. 6th South-East Eur. Des. Autom. Comput. Eng. Comput. Netw. Soc. Media Conf. (SEEDA-CECNSM), Preveza, Greece, 2021, pp. 1-8, doi: 10.1109/SEEDA-CECNSM53056.2021.9566263.

[20] M. K. Jabbar and H. Trabelsi, "A Betweenness Centrality Based Clustering in VANETs," in Proc. 15th Int. Conf. Secur. Inf. Netw. (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," in Proc. Int. Conf. Mach. Learn. Cybern. (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," in Proc. IEEE Int. Conf. Internet Things (iThings), 2018, pp. 1753-1758, doi: 10.1109/Cybermatics_2018.2018.00292.

[23] G. Khayat et al., "Successful Delivery in VANETs with Damaged Infrastructures Based on Double Cluster Head Selection," in Proc. IEEE 25th Int. Workshop Comput. Aided Model. Des. Commun. Links Netw. (CAMAD), 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/CAMAD50429.2020.9209259.