ارائهٔ یک الگوریتم مسیریابی جدید مبتنی بر الگوریتم‌های ژنتیک و تبرید شبیه‌سازی‌شده برای شبکه‌های موردی بین‌خودرویی

نیره سعیدی و شهرام بابائی*

گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز، ایران

چکیده

در سال‌های اخیر شبکه‌های موردی بین‌خودرویی به‌عنوان یک فناوری نوظهور سعی کرده است با کنترل هوشمند ترافیک، تعداد تصادفات خودروها را کاهش دهد. در این شبکه‌ها حرکت سریع خودروها، پویایی توپولوژی و محدودیت‌های منابع شبکه، مسیریابی را به یک چالش اساسی تبدیل کرده، لذا ارائه یک الگوریتم مسیریابی پایدار و مطمئن یک راه‌کار مناسب برای حفظ پارامترهای کیفیت سرویس خدمات این شبکه‌ها است. در این مقاله یک الگوریتم مسیریابی جدید مبتنی بر خوشه‌بندی به نام GCAR بر اساس الگوریتم ژنتیک ارائه می‌شود که ابتدا خودروها در یک زیرساخت مبتنی بر خوشه‌های پویا قرار می‌گیرند و سپس با انتخاب دو خودرو در هر خوشه به‌عنوان خودروهای دروازه بین خوشه‌های همسایه، یک زنجیره خودرویی تشکیل می‌شود. همچنین برای خوشه‌بندی از ترکیب الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌شده استفاده می‌شود که سعی می‌کنند سرخوشه‌های مناسب را شناسایی کنند. نتایج شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در نرم‌افزار متلب نشان می‌دهد که به‌طور متوسط نرخ کشف مسیر الگوریتم پیشنهادی ۱۸/۴٪، تعداد خوشه ایجادشده ۲/۵۵٪، توان عملیاتی ۳/۴۵٪ و نرخ دریافت صحیح بسته‌ها ۱۴/۱۸٪ نسبت به رویکرد PassCAR عملکرد بهتری دارد. همچنین ارزیابی هم‌گرایی، انحراف معیار و خطای استاندارد الگوریتم پیشنهادی اثبات‌کننده سرعت هم‌گرایی و پایداری بالای آن است.

واژگان کلیدی: شبکه‌های موردی بین‌خودرویی، مسیریابی، خوشه‌بندی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌شده.

A New Hybrid Routing Algorithm based on Genetic Algorithm and Simulated Annealing for Vehicular Ad hoc Networks

Nayyerh Saeedi & Shahram Babaie*

Department of Computer Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Abstract

In recent years, Vehicular Ad-hoc Networks (VANET) as an emerging technology have tried to reduce road damage and car accidents through intelligent traffic controlling. In these networks, the rapid movement of vehicles, topology dynamics, and the limitations of network resources engender critical challenges in the routing process. Therefore, providing a stable and reliable routing algorithm is a necessary requirement to maintain the Quality of Service (QoS) parameters of VANETs. In this paper, a new routing algorithm based on the clustering technique is proposed, which is called GCAR. In the proposed algorithm, the appropriate cluster heads are selected based on the genetic algorithm then two vehicles are selected between the neighboring clusters as the gateways and a vehicle chain is formed by these vehicles. Moreover, a combination of genetic algorithm and simulated annealing is applied to identify the suitable clusters. The conducted simulations in MATLAB tool indicate that, respectively, path discovery ratio, the number of clusters, throughput, and packet delivery ratio of the proposed

* نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

* Corresponding author

• تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۱/۲۴ • تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۳ • تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۷/۷ • نوع مطالعه: پژوهشی

algorithm have been improved by 18.4%, 2.55%, 3.45%, and 14.18% in comparison to the PassCAR approach. Furthermore, evaluation of the convergence, standard deviation, and standard error of the proposed algorithm prove its high convergence speed and stability.

Keywords: **Vehicular Ad-hoc Networks (VANET), Routing, Clustering, Genetic Algorithm, Simulated annealing**

۱- مقدمه

شبکه‌های موردی بین‌خودرویی[1] زیرمجموعه‌ای از شبکه‌های موردی سیار[2] هستند که می‌توانند جهت ارتباط در سامانه‌های حمل و نقل هوشمند[3] مورد استفاده قرار بگیرند. این شبکه‌ها همانند شبکه‌های موردی بی‌سیم ساختار خاصی نداشته و در آن گره‌های شبکه، خودروهای در حال حرکت هستند. وابسته‌بودن به تصمیمات راننده، سرعت بالا و توپولوژی پویا، ویژگی‌های منحصر به‌فرد این شبکه‌ها هستند. یک شبکه موردی بین‌خودرویی ارتباط بین وسایل نقلیه نزدیکی به هم را به‌صورت مستقیم[3] و ارتباط بین وسایل نقلیه دور را با استفاده از تجهیزات ثابت موجود در طول مسیر که تجهیزات کنار جاده‌ای[4] نامیده می‌شوند، فراهم می‌آورد [3]. هدف اصلی این شبکه‌ها افزایش ایمنی در رانندگی، سهولت رانندگی و ارائه خدمات هوشمند به مسافران است [4]. ساختار کلی یک شبکه موردی بین‌خودرویی در شکل (۱) نشان داده شده است.

(شکل-۱): ساختار کلی شبکه‌های موردی بین‌خودرویی [6]
(Figure-1): Structure of vehicular ad hoc networks

با توجه به عدم وجود مسیرهای ثابت بین خودروهای متحرک و همچنین بی‌سیم‌بودن ارتباطات بین مؤلفه‌های مختلف شبکه، این فناوری نسبت به تهدیدات متعددی آسیب‌پذیر است که باید تمهیدات لازم برای رفع آنها اتخاذ شود. از کاربردهای این شبکه‌ها می‌توان به سامانه‌های هشدار جاده‌ها، نظارت لحظه‌ای بر ترافیک، شناسایی خطوط جاده، جلوگیری از برخورد خودرو با موانع و عابران و تخمین سرعت و فاصله بین خودروها اشاره کرد [5]. در این فناوری به‌دلیل محدودبودن برد رادیویی فرستنده‌های خودروها، امکان ارتباط مستقیم بین خودروهای دور از هم وجود ندارد و به‌الزام ارتباط به‌صورت چندگامه و از طریق خودروهای دیگر انجام می‌شود که در این حالت سرعت و جهت حرکت خودروها دو فاکتور مهم در نحوه انتقال اطلاعات خواهد بود [7].

الگوریتم‌های مسیریابی مختلفی برای شبکه‌های موردی بین‌خودرویی ارائه شده است که در پنج گروه، مسیریابی مبتنی بر چند پخشی، مبتنی بر توپولوژی، مبتنی بر خوشه‌بندی، مبتنی بر موقعیت جغرافیایی و ترکیبی قابل بررسی هستند [8]. در پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر چند پخشی، داده‌های ارسالی به همه وسایل نقلیه موجود در یک منطقه جغرافیایی از پیش تعیین‌شده ارسال می‌شوند. الگوریتم‌های مسیریابی مبتنی بر توپولوژی برای انتقال اطلاعات از توپولوژی لحظه‌ای بین خودروها استفاده می‌کنند و این اطلاعات از گره منبع تا گره مقصد، در حافظه گره‌ها ذخیره می‌شوند و به سه گروه، پروتکل مسیریابی پیش‌گیرانه، واکنشی و ترکیبی تقسیم می‌شوند [9]. پروتکل‌های مبتنی بر موقعیت به‌جای اطلاعات توپولوژی شبکه از اطلاعات جغرافیایی خودروها برای مسیریابی استفاده می‌کنند. در این پروتکل‌ها ابتدا گرافی برای ساختن توپولوژی شبکه ساخته و پروتکل مسیریابی روی آن اجرا می‌شود. در پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی، ناحیه جغرافیایی و یا خودروها به تعدادی خوشه مجزا از هم تقسیم‌بندی می‌شود که برای هر خوشه یک سرخوشه انتخاب و اطلاعات هر خودرو به سرخوشه خودش ارسال می‌شود [10]. در پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی خودروهای سرخوشه و یک خودرو به‌عنوان دروازه در هر خوشه یک ستون فقرات مجازی برای مسیریابی تشکیل می‌دهند و دیگر نیازی به نگهداری اطلاعات تمامی خودروها در شبکه نیست. این پروتکل‌ها قادرند ارتباطات پایدارتر و مقیاس‌پذیرتری را نسبت به سایر پروتکل‌ها ایجاد کنند [11].

در این مقاله یک الگوریتم مسیریابی جدید به نام GCAR مبتنی بر خوشه‌بندی برای شبکه‌های موردی بین‌خودرویی ارائه می‌شود که علاوه‌بر تفکیک خودروها به خوشه‌های مجزا از هم برای هر خوشه یک سرخوشه تعیین می‌کند. در الگوریتم پیشنهادی از الگوریتم ژنتیک برای تعیین سرخوشه‌ها استفاده می‌شود و از دو گره

[1] Vehicular Ad Hoc Network (VANET)
[2] Mobile Ad Hoc Network (MANETs)
[3] Intelligent Transportation Systems (ITS)
[3] Vehicle to Vehicle (V2V)
[4] Road Side Unit (RSU)

دروازه[1] در سمت چپ و راست خوشه‌ها استفاده می‌شود تا خودروها بتوانند با خوشه‌های اطراف خود در ارتباط باشند. نتایج ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که در رویکردهایی که از یک گره دروازه که در محدوده رادیویی دو سرخوشه مجاور قرار دارد استفاده می‌شود، در مواردی باعث عدم برقراری ارتباط بین خوشه‌ها می‌شود؛ لذا در الگوریتم پیشنهادی سعی می‌شود با درنظرگرفتن موارد بالا پارامترهای کیفیت سرویس مسیریابی بهینه شوند.

ادامه این مقاله به‌صورت زیر سازمان‌دهی شده است. در بخش ۲ راه‌کارهای گذشته مرتبط با موضوع به صورت مختصر معرفی می‌شوند. در بخش ۳ الگوریتم مسیریابی پیشنهادی و جزئیات آن توضیح داده شده است. در بخش ۴ نتایج شبیه‌سازی‌ها ارزیابی شده و عملکرد الگوریتم پیشنهادی با رویکرد مشابه مقایسه می‌شود. درنهایت در بخش ۵ نتیجه‌گیری مقاله آورده شده است.

۲- کارهای انجام‌شده

شبکه‌های موردی بین‌خودرویی از تعدادی خودروی متحرک تشکیل می‌شود که هر خودرو قادر است در هر لحظه خودروهای اطرافش را شناسایی کرده و با اتصال به آنها یک شبکه هوشمند تشکیل دهد. به‌دلیل متحرک‌بودن خودروها و پویابودن توپولوژی شبکه، خودروها باید قادر باشند در هر لحظه با خودروهای اطراف خود یک شبکه جدید ایجاد کنند. مبنای اصلی شبکه‌های موردی بین‌خودرویی غیر ساختارمندبودن آنها و استفاده از استاندارد 802.11p و ارتباطات برد کوتاه[2] است [12]. الگوریتم‌های مسیریابی متعددی برای ارتباط بین خودروها و انتقال اطلاعات بین آنها ارائه شده است. الگوریتم‌های مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی نوع خاصی از این الگوریتم‌ها است که به‌منظور بهبود خاصیت مقیاس‌پذیری در شبکه‌های موردی بین‌خودرویی تعادل بار را در نظر می‌گیرند [13]. با توجه به اینکه اغلب شبکه بین خودرویی نیز می‌تواند به‌صورت یک گراف مدل شود، الگوریتم‌های مختلفی مانند دایجسترا [1] و A* برای پیمایش گراف و یافتن کوتاهترین مسیر بین خودروها استفاده شود [2]. الگوریتم A* به‌علت کامل‌بودن، بهینه‌بودن و سرعت مناسب، استفاده گسترده‌ایی در یافتن مسیرهای بهینه دارد.

در پروتکل مسیریابی PassCAR از قابلیت اطمینان پیوندها، درجه گره‌ها، مقدار پیش‌بینی انتقال و مدت‌زمان زنده‌ماندن پیوندها به‌عنوان پارامترهای تأثیرگذار در نظر گرفته شده‌اند و مسیریابی بر اساس آنها انجام می‌شود. پروتکل PassCAR، برای افزایش احتمال موفقیت کشف مسیر و کاهش تأخیر تحویل بسته‌ها در مسیریابی و در زمان ارسال بسته‌های RREQ از درجه گره‌ها استفاده می‌کند. همچنین این پروتکل برای کاهش تعداد خوشه‌های ایجادشده و جلوگیری از ساختن خوشه‌هایی با پیوندهای شکسته، گره‌هایی را انتخاب می‌کند که بیشترین تعداد بسته‌های RREQ را ارسال کرده باشند [14].

الگوریتم LA[3] اصلاح شده یک الگوریتم مسیریابی برای کشف مسیر مطلوب در شبکه‌های موردی بین‌خودرویی است. این الگوریتم از سامانه استنتاج فازی برای پیش‌بینی تراکم و ارزیابی هزینه برای شناسایی فضای جستجوی مسیر استفاده می‌کند. این الگوریتم قادر است مشکلات بهینه‌سازی را به‌طور مؤثر مدیریت کند و در مقایسه با LA معمولی نتایج بهتری دارد. نویسندگان این مقاله اظهار کرده‌اند که هزینه‌های تبادل اطلاعات نسبت به روش‌های مشابه کاهش یافته است [15].

در [16] از الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری[4] برای بهبود مسیریابی شبکه‌های موردی بین‌خودرویی استفاده شده است. در این روش جمعیت اولیه با توجه به پارامترهایی مانند تعداد گره، محدوده انتقال و اندازه شبکه تولید می‌شود. این الگوریتم برای تعیین تعداد خوشه بهینه ارائه شده است و از چهار پارامتر مختلف ωوδ،β،α برای شکار استفاده می‌کند. در این روش گرگ‌های مختلف برای انجام عملیات اکتشاف و بهره‌برداری در فضای جستجو مورد استفاده قرار می‌گیرند و تعداد بهینه خوشه‌ها با همگرایی مقدار گرگ α به‌دست می‌آید. این الگوریتم با دو الگوریتم CLPSO و MOPSO و با تعداد گره‌های مختلف و محدوده‌های انتقال متفاوت، مقایسه شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهند که در این روش تعداد خوشه‌ها نسبت به دو الگوریتم دیگر به طور مؤثر کاهش پیدا کرده است.

باقرلو و همکارانش [17] از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌شده برای خوشه‌بندی گره‌ها و از شبکه عصبی برای انتخاب سرخوشه استفاده کرده‌اند. هر خوشه دارای دو گره دروازه است که به‌عنوان رابط ارتباطی برای انتقال داده‌ها از یک خوشه به خوشه دیگر استفاده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده کارآیی بالای این روش از لحاظ سرعت کشف مسیر و میزان تحویل بسته‌ها هستند.

[1] Gateway
[2] Dedicated Short Range Communication (DSRC)
[3] Lion Algorithm (LA)
[4] Grey Wolf Optimization

در [18] از روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان[1] برای انتخاب بهترین مسیر در شبکه‌های موردی بین‌خودرویی استفاده شده است. این روش یک راه‌حل متشکل از مجموعه‌ای از مورچه‌ها ایجاد می‌کند که به‌دنبال کشف مسیر مطلوب خواهند بود. نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده در MATLAB و NS3 نشان می‌دهد که روش ACO زمان تأخیر و توان خروجی را بهبود می‌بخشد، ولی در این روش مصرف انرژی در مقایسه با طرح‌های دیگر بیشتر است.

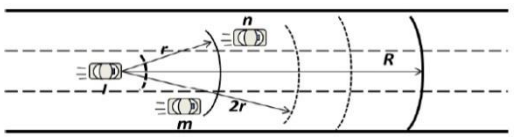
صدیق‌زاده و مظاهری‌پور در [19] از ترکیب دو الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و زنبور عسل مصنوعی به حل مسأله مسیریابی در شبکه‌های بین خودرویی پرداخته‌اند. آنها در این کار پژوهشی سعی کرده‌اند ترکیبی از چندین محدودیت را هم‌زمان مد نظر قرار دهند و مسأله حاضر را به‌عنوان توابع چند هدفه نگاشت کنند. آنها ادعا کرده اند که استفاده از الگوریتم ترکیبی موجب کاهش زمان محاسبات می شود. مطابق ارزیابی‌های انجام‌شده، الگوریتم ترکیبی آنها هم‌گرایی بهتری نسبت به هر دو الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و زنبور عسل مصنوعی بنیادی دارد.

با توجه به اینکه یافتن بهترین مسیر در شبکه‌های بین‌خورویی یک مسأله NP-hard است، الگوریتم‌های فرامکاشفه‌ای ابزارهای مناسبی برای حل این مسأله هستند. باید توجه داشت که درنظرگرفتن هم‌زمان چندین فاکتور، فضای جستجوی بزرگی را فراهم می‌آورد که استفاده ترکیبی از الگوریتم‌های فرامکاشفه‌ایی ضمن کاهش پیچیدگی زمانی، دقت تصمیم‌گیری را افزایش می‌دهد؛ لذا در رویکرد پیشنهادی این مقاله برای نخستین‌بار دو الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌شده برای مسأله مسیریابی در شبکه‌های بین‌خودرویی مورد توجه قرار می‌گیرد.

۳- ارائه الگوریتم پیشنهادی

در سناریو فرض شده برای شبکه‌ی موردی بین‌خودرویی فقط ارتباطات خودرو به خودرو در نظر گرفته شده است و خودروها در یک بزرگراه در حال حرکت هستند. تمام خودروها به سامانه موقعیت‌یاب جهانی[2] و یک دستگاه فرستنده-گیرنده مجهز هستند. خودروها در مسیر مشترک حرکت می‌کنند و در همسایگی یکدیگر عضو یک خوشه می‌شوند. مزیت خوشه‌های متحرک این است که با وجود تحرک خودروها، سرخوشه و خود خوشه‌ها همراه خودروهای عضو خوشه حرکت می‌کنند. این مسأله تضمین می‌کند که با وجود سرعت بالای خودروها، به خاطر معماری خوشه‌های متحرک یک توپولوژی پایدار برقرار شود و خودروهای مجاور در کنار یکدیگر باقی بمانند.

ارتباطات درون خودرویی[3] در باند فرکانسی 5.9 GHz جهت پشتیبانی از کاربردهای ایمنی و غیر ایمنی انجام می‌شوند. پروتکل ارتباطات برد کوتاه در پهنای باند 75 MHz استفاده می‌شود که به هفت کانال مجزا تقسیم می‌شود که یک کانال به‌عنوان کانال کنترل و بقیه آنها به کانال‌های سرویس در نظر گرفته می‌شوند. فرض می‌شود که خودروها از کانال کنترل جهت مبادله پیام‌های دوره‌ای و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به همسایه‌ها استفاده می‌کنند؛ همچنین کانال‌های سرویس را برای تعریف شعاع خوشه و انجام وظایف ارتباطی درون خوشه‌ای به کار می‌گیرند. برای استفاده مؤثر از منابع، شبکه موردی بین‌خودرویی می‌تواند برد طولانی‌تر (R) را برای کانال کنترل مورد استفاده قرار دهد، به‌طوری‌که سرخوشه‌ها بتوانند با سرخوشه‌های همسایه ارتباط برقرار کنند و برد کوتاهتر (r) را برای کانال سرویس که برای مدیریت درون‌خوشه‌ای استفاده می‌شود، به کار بگیرند. بدین‌ترتیب خوشه‌ها می‌توانند با استفاده از کانال کنترل، اطلاعات مربوط به وضعیت جاده را از خوشه‌های همسایه جمع‌آوری کرده و یک تصویر کامل از جاده بسازند. شرط همسایگی به‌طورمستقیم به محدوده ارسال و دریافت خودروها وابسته است و این موضوع از طریق کانال کنترلی تعیین می‌شود. همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است، سه خودروی l و m و n در یک ناحیه جغرافیایی قرار دارند. برای خودروی l، خودروی n از نظر کانال کنترل یک همسایه محسوب می‌شود، اما از لحاظ کانال سرویس یک همسایه نیست؛ چون فاصله آن از خودروی l بیشتر از r یا بیشینه برد کانال سرویس است. درحالی‌که خودروی m از نظر هر دو کانال، یک همسایه محسوب می‌شود.



(شکل-۲): همسایگی خودروها با توجه به محدوده ارسال و دریافت کانال‌ها

(Figure-2): Neighboring of vehicles based on the radius of transmission channels

[1] Ant Colony Optimization (ACO)
[2] Global Positioning System (GPS)
[3] Inter-Vehicle Communications (IVC)

در الگوریتم پیشنهادی نقش خودروها به سه گروه مختلف تقسیم می‌شود.

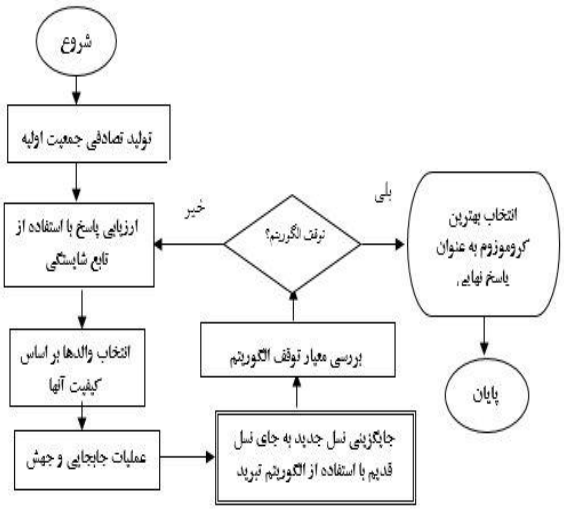
- سرخوشه‌ها (CH) که مسئول ایجاد و سازمان‌دهی خوشه‌ها می‌باشند.
- اعضای خوشه (CM) یا خودروهای عادی که عضو خوشه‌ها می‌باشند.
- گره‌های دروازه (GN) که در واقع خودروهایی هستند که به‌وسیله سرخوشه‌ها برای ایجاد ارتباط با خوشه‌های مجاور انتخاب شده‌اند.

روش خوشه‌بندی پیشنهادی سعی می‌کند به‌صورت توزیع‌شده یک ستون فقرات مجازی از خودروها در سناریوهای مختلف ایجاد کند. ساختار ستون فقرات ایجادشده به‌الزام باید یکپارچه باشد، به این معنا که باید از چندین زنجیره متصل به هم از خودروها تشکیل شده باشد. در ضمن هر گره دروازه دارای یک شماره توالی در زنجیره فعلی تحت عنوان شاخص i است که اطلاعات مربوط به سرخوشهٔ قبلی و بعدی را نگهداری می‌کند. هرگاه یک پیام ایمنی توسط خودرویی تولید می‌شود، به‌وسیلهٔ خودروهای دروازه و سرخوشه‌ها به طریق جلورانی چندجهشی که در بخش‌های بعد توضیح داده خواهد شد، انتشار می‌یابد. این روش امکان جلورانی بدون رقابت را برای پخش پیام‌های ایمنی فراهم می‌کند که از وجود خودروهای دروازه و سرخوشه‌ها بهره می‌برد؛ بنابراین می‌توان استدلال کرد که در این طرح جلورانی با توجه به این که ارسال پیام‌های اضطراری در هر گام به‌وسیلهٔ خودروهای دروازه و سرخوشه صورت می‌گیرد تأخیر تحویل به‌طور چشم‌گیر کاهش یابد. همچنین به‌دلیل استفاده از پیام تصدیق دریافت[1] اطمینان دریافت پیام بین سرخوشه‌ها افزایش می‌یابد. نکته دیگر اینکه در الگوریتم پیشنهادی هنگامی‌که هیچ مسیری به مقصد کشف نشود، بسته‌ها در سرخوشه ذخیره می‌شوند و تا کشف خوشه بعدی و تعیین گره دروازه منتظر می‌مانند.

در الگوریتم پیشنهادی با تشکیل زنجیرهای به هم پیوسته از خوشه‌های متحرک، ستون فقرات خودرویی تشکیل می‌شود که موجب کاهش تأخیر در ارسال پیام‌های ایمنی و همچنین کاهش مصرف پهنای باند و همچنین به‌دلیل حذف انتشار سیل‌آسا منجر به استفاده بهینه از منابع شبکه می‌شود؛ لذا در الگوریتم پیشنهادی ابتدا خودروها در یک زیرساخت مبتنی بر خوشه‌های پویا قرار می‌گیرند و سپس با انتخاب خودروهای دروازه بین خوشه‌های همسایه، یک زنجیره خودرویی تشکیل می‌شود و سپس اطلاعات خودروها در طول بزرگراه انتقال داده می‌شود. در مدل شبکه بین‌خودرویی فرض می‌شود تعداد N عدد خودرو به‌صورت توزیع یکنواخت در جاده‌ای یک‌طرفه که دارای چهار باند اصلی است، پخش شده‌اند. هر یک از خودروهای شبکه مورد نظر دارای پارامترهای زیر هستند:

- مختصات (x,y): نمایان‌گر مختصات و موقعیت جغرافیایی خودرو در جاده است؛
- برد مؤثر (R): مشخص‌کننده برد رادیویی هر خودرو است؛
- سرعت (V): مشخص‌کننده سرعت لحظه‌ای هر خودرو است.

در الگوریتم پیشنهادی[2] برای انتخاب سرخوشه‌ها از ترکیب الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تبرید شبیه‌سازی استفاده می‌شود. در شکل (۳) فلوچارت الگوریتم پیشنهادی آورده شده است. بدین صورت که الگوریتم ژنتیک در هر مرحله سعی می‌کند طبق تابع شایستگی سرخوشه‌های مناسب را انتخاب کند و برای جایگزینی مجموعه جواب‌های جدید و قدیم از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال در شکل (۴) برای مقایسه $p(1)$ و $q(1)$ به‌عنوان سرخوشه‌های احتمالی به‌صورت زیر عمل می‌شود. اگر $q(1)$ (جواب جدید) بهتر از $p(1)$ (جواب قدیم) باشد، $q(1)$ با $p(1)$ جایگزین شود. در غیر این‌صورت $q(1)$ با احتمال $\mathrm{p} = \exp(-\frac{\Delta \mathrm{E}}{\mathrm{T}})$ جواب است و به‌احتمال $1-p$، $p(1)$ جواب مسأله خواهد بود.



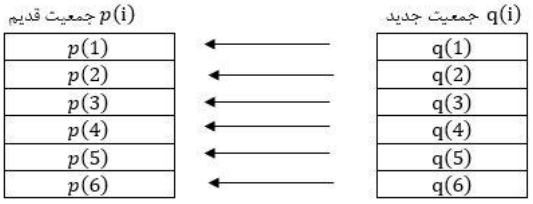
(شکل-۳): روندنمای الگوریتم پیشنهادی
(Figure-3): Flowchart of the proposed algorithm

[1] Acknowledge

[2] Genetic-based Clustering Algorithm for Routing (GCAR)

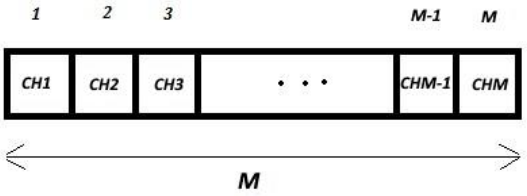
پارامترهای الگوریتم پیشنهادی به‌صورت زیر هستند؛

- تعداد جمعیت (N): تعداد کروموزم را که به‌عنوان جواب اولیه انتخاب شده‌اند، مشخص می‌کند؛
- تعداد تکرار اصلی (it): نشان‌دهنده تعداد تکرار الگوریتم و تعداد نسل است؛
- احتمال جابه‌جایی (P_C): احتمال اجرای عمل‌گر جابه‌جایی روی جواب است؛
- احتمال جهش (P_M): احتمال اجرای عمل‌گر جهش روی جواب است..



(شکل-۴): استراتژی جایگزینی در رویکرد ترکیبی
(Figure-4): Mutation strategy in the hybrid approach

برای ایجاد جمعیت اولیه تعداد M خودرو به‌طوری که $(1 < M < N)$ است به‌صورت تصادفی به‌عنوان سرخوشه‌های احتمالی در نظر گرفته می‌شوند. لازم به توضیح است در این الگوریتم تعداد گره‌های سرخوشه متغیر بوده و از قبل مشخص نیست؛ بنابراین مقدار M برای هر مسأله ممکن است با مسأله دیگری متفاوت باشد. در حالت کلی ساختار جواب اولیه به‌صورت شکل (۵) است.



(شکل-۵): ساختار جواب مسأله
(Figure-5): Structure of chromosome structure in the proposed algorithm

مطابق شکل (۵)، ساختار هر جواب به‌صورت یک آرایه $1 * M$ است. در این آرایه محتوای هر درایه نشان‌دهنده شماره شناسه هر خودرو است که به‌عنوان سرخوشه احتمالی انتخاب شده است. برای ارزیابی شایستگی سرخوشه‌های انتخاب‌شده سه پارامتر مختلف مد نظر قرار می‌گیرد که هر پارامتر ضریب تأثیر مربوط به خودش را دارد. پارامتر اول مربوط به توانایی پوشش شبکه به‌وسیلهٔ خودروهای سرخوشه است. در حالت کلی بهتر است تمامی خودروها در برد رادیویی خودروهای سرخوشه قرار داشته باشند. میزان پوشش خودروها توسط رابطه (۱) توسط متغیر $coverage$ مشخص شده که عددی نرمال‌شده بین صفر و یک است.

$$\text{Coverage} = 1 - \left(\frac{n}{N}\right) \qquad (۱)$$

که n نشان‌دهنده خودروهای موجود در برد رادیویی یک سرخوشه و N نشان‌دهنده کل خودروهای موجود در شبکه است. پارامتر دوم مربوط به توانایی ارتباطات هر خودرو است که با متغیر $Ability$ مشخص شده است. در حالت کلی خودرویی تواناتر است که برد مؤثر آن بالا باشد و سرعت آن نزدیک به سرعت میانگین باشد. این پارامتر می‌تواند دلیلی باشد که خودرو مورد نظر سرخوشه مناسبی باشد. در تابع شایستگی، پارامتر $Ability$ میانگین توانایی گره‌های سرخوشه است که دارای عددی نرمال‌شده بین صفر و یک است و در رابطه (۲) نشان داده شده است.

$$\text{Ability} = \text{Max}\left(\frac{R_{CH_i}}{R_{Max}}, \frac{V_{CH_i}}{V_{Max}}\right) \qquad (۲)$$

پارامتر سوم تابع شایستگی، درجه خودروها است که با پارامتر $Degree$ در تابع ارزیابی مشخص شده است. درجه هر خودرو مشخص‌کننده تعداد خودروهایی است که در برد مؤثر آن خودرو قرار دارند و آن خودرو توانایی ارسال و دریافت اطلاعات به آنها را دارد که با تقسیم تعداد خودروهای همسایه به تعداد کل خودروها عدد نرمال بین صفر و یک به‌دست می‌آید که در رابطه (۳) نشان داده شده است:

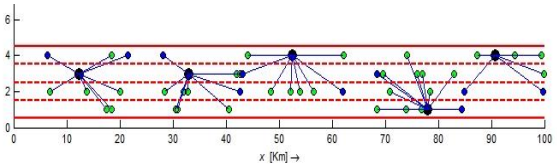
$$\text{Degree} = \left(\frac{\#\,CM}{N}\right) \qquad (۳)$$

که CM نشان‌دهنده تعداد خودروهای همسایه است. گفتنی است با توجه به مطالب بیان‌شده سعی می‌شود که تابع شایستگی بیشینه باشد. تابع شایستگی الگوریتم پیشنهادی در رابطه (۴) نشان داده شده است.

$$F = w(1) * \text{Coverage} + w(2) * \text{Ability} + w(3) * \text{Degree} \qquad (۴)$$

که $W(1)$، $W(2)$ و $W(3)$ وزن‌های سه پارامتر یادشده هستند که با توجه به ارزیابی که در شبیه‌سازی شده است، مقادیر آنها به‌ترتیب برابر ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۲۵ است. پس از اینکه سرخوشه‌ها به‌وسیلهٔ رابطه (۴) انتخاب شدند، این خودروها خودشان را به‌صورت داده‌پراکن به

دیگر خودروها معرفی می‌کنند تا به آنها ملحق شوند. شکل (۶) یک نمونه از خوشه‌بندی پیشنهادی را به تصویر می‌کشد. همان‌طور که در شکل (۶) مشخص است خودروهای سرخوشه با دایره‌های سیاه، خودروهای عضو خوشه با دایره‌های سبز و خودروهای دروازه با دایره‌های آبی مشخص شده است. همچنین شبکه دارای پنجاه خودرو است که الگوریتم پیشنهادی پنج سرخوشه را برای این شبکه انتخاب کرده است. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود این شبکه فرضی به‌صورت کامل به‌وسیلهٔ گره‌های سرخوشه پوشش داده شده است.



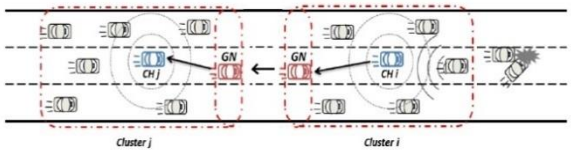
(شکل-۶): نمونه‌ای از خوشه‌بندی خودروها در یک جاده فرضی

(Figure-6): An example of vehicle clustering on a hypothetical road

در الگوریتم پیشنهادی هر خوشه دارای دو خودرو دروازه است که یکی برای انتقال داده‌ها در جهت راست و دیگری برای انتقال داده‌ها در جهت چپ به‌کار می‌رود. الگوریتم پیشنهادی فرآیند انتخاب خودروهای دروازه را به این صورت انجام می‌دهد که بعد از خوشه‌بندی و الحاق خودروها به سرخوشه‌ها، هر سرخوشه (CH_i) فاصله خود را تا تک‌تک خودروهای عضو خوشه طبق رابطه (۵) محاسبه می‌کند؛ سپس دورترین خودروها در مسیر روبه جلو و مسیر رو به عقب نسبت به حرکت خودرو به‌عنوان خودروهای دروازه این خوشه انتخاب می‌شوند؛ سپس سرخوشه با ارسال یک پیغام از طریق کانال کنترلی، موضوع انتخاب‌شدنشان را به آنها اطلاع می‌دهد.

$$d = \sqrt{(X_{CH} - X_i)^2 + (Y_{CH} - Y_i)^2} \qquad (۵)$$

نحوه انتقال اطلاعات در الگوریتم پیشنهادی به این صورت است که در صورت بروز حادثه و تشخیص آن توسط یک خودرو، یک پیغام حاوی پیام اضطراری از طرف آن خودرو به سرخوشه مربوطه ارسال و سرخوشه از اتفاق پیش آمده باخبر می‌شود. سرخوشه بعد از دریافت این پیغام دو وظیفه بر عهده دارد: نخست این که پیام را در اختیار دیگر اعضای خوشه خود قرار دهد و دوم اینکه سرخوشه باید پیام جداگانه‌ای را که حاوی اطلاعات اضافی مانند زمان اعتبار و مسافت مؤثر ارسال پیام است، به گره دروازه سمت چپ یا راست برخلاف جهت حرکت خودروها ارسال کند. این فرآیند در شکل (۷) نشان داده شده است که خودروی دروازه نیز پیام را در اختیار سرخوشهٔ خوشه مجاور قرار می‌دهد. بدین ترتیب سرخوشه مجاور نیز با پیام جداگانه‌ای اعضای خوشه خود و همچنین گره دروازه مشترک با خوشهٔ مجاور دیگر را از وقوع حادثه مطلع می‌سازد.



(شکل-۷): نحوه انتشار پیام‌ها در الگوریتم پیشنهادی

(Figure-7): Message dissemination in the proposed algorithm

۴- ارزیابی و کارایی الگوریتم پیشنهادی

در این قسمت کارایی الگوریتم پیشنهادی از نظر نرخ کشف مسیر[1]، تعداد خوشه‌های ایجاد شده، توان عملیاتی[2] و نرخ دریافت صحیح بسته‌ها[3] مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. ارزیابی الگوریتم پیشنهادی به‌واسطه شبیه‌سازی در نرم‌افزار متلب صورت گرفته که پارامترهای شبیه‌سازی در جدول (۱) آورده شده است.

(جدول-۱): پارامترهای شبیه‌سازی

(Table-1): Simulation parameters

پارامتر	مقدار
طول جاده	۵ کیلومتر
تعداد باندهای موجود در جاده	۴
تعداد خودروهای موجود	۱۵۰ خودرو
حداکثر سرعت خودروها	۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت
محدوده برد رادیویی	۲۵۰ متر
اندازه بسته ارسالی	۱۰۰۰ بایت
زمان شبیه‌سازی	۱۰۰ ثانیه
پروتکل MAC	IEEE 802.11
ظرفیت کانال	۱ مگابایت بیت بر ثانیه

۴-۱- تحلیل و بحث نتایج شبیه‌سازی

در این قسمت نتایج حاصل از شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی از نظر چهار پارامتر کیفیت سرویس مختلف با رویکرد PassCAR مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

- **مقایسه از نظر نرخ کشف مسیر**

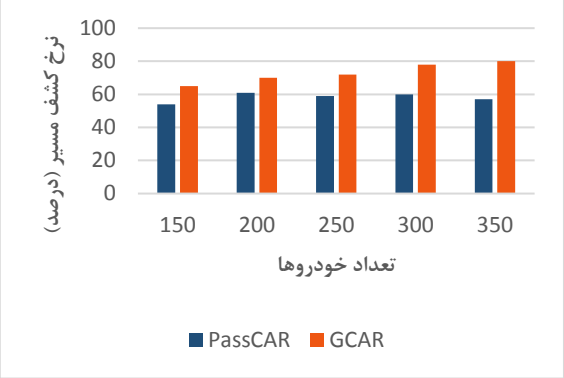
نرخ کشف مسیر در شبکه‌های موردی بین‌خودرویی نشان‌دهنده میزان موفقیت یک روش در ایجاد یک مسیر موفق تا خودروی مقصد است. این پارامتر از نسبت تعداد بسته‌های RREQ دریافت‌شده به‌وسیلهٔ خودروی مقصد به تعداد کل بسته‌های ارسال‌شده

[1] Routing Discovery Ratio (RDR)
[2] Throughput
[3] Packet Delivery Ratio (PDR)

به‌وسیلهٔ خودروی مبدأ حاصل می‌شود. درواقع هر چقدر این پارامتر بزرگتر بیشتر باشد، به منزله توانایی بالا در کشف مسیر بهتر است. نرخ کشف مسیر از رابطه (۶) قابل محاسبه است.

$$PDR = \frac{\#\ received\ RREQ\ by\ destination\ vehicle}{\#\ sent\ RREQ\ by\ source\ vehicle} \qquad (۶)$$

در الگوریتم پیشنهادی سعی شده با بهبود این پارامتر در ارسال بسته‌های اطلاعاتی مشکل خاصی وجود نداشته است و بسته‌های اطلاعاتی با احتمال بالایی به خودروی مقصد تحویل داده شوند. در شکل (۸) نرخ کشف مسیر دو روش GCAR و PassCAR با تعداد خودروهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفته است.



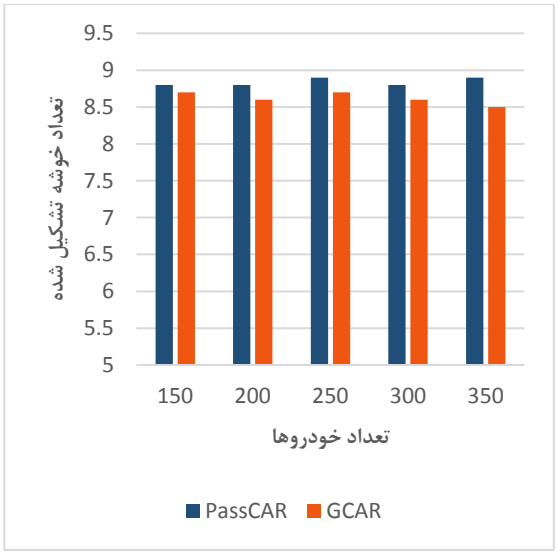
(شکل-۸): مقایسه نرخ کشف مسیر روش‌های GCAR و PassCAR با تعداد خودروهای مختلف

(Figure-8): Path discovery ratio of GCAR and PassCAR

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند که روش GCAR توانسته است در تعداد خودروهای مختلف نرخ کشف مسیر بهتری نسبت به روش PassCAR داشته است. در روش PassCAR با افزایش تعداد خودروها، تعداد بسته‌های کنترلی نیز افزایش داشته است که موجب افزایش تصادم در پیام‌های ارسالی می‌شود. درحالی‌که در الگوریتم پیشنهادی به‌دلیل استفاده از دو کانال مجزا این مشکل برطرف شده است و نتایج حاصل این موضوع را تأیید می‌کنند. با توجه به اینکه الگوریتم پیشنهادی در انتخاب سرخوشه‌ها، توانایی ارتباطات خودروها و درجه خودروها را در نظر می‌گیرد، نرخ کشف مسیر الگوریتم پیشنهادی بهبود داشته است.

- **مقایسه از نظر تعداد خوشه ایجاد شده**

در شکل (۹) تعداد خوشه‌های ایجادشده به‌وسیلهٔ دو روش GCAR و PassCAR نشان داده شده است. همان‌طور که از نتایج شبیه‌سازی مشخص است، تعداد خوشه‌ها در پروتکل PassCAR تقریباً ثابت است و تعداد خودروها تأثیری در تعداد خوشه‌های تشکیل شده آن ندارد. در مقابل، الگوریتم پیشنهادی چون دارای یک رویکرد تکاملی است و در تعیین سرخوشه‌ها پارامترهای متعددی مانند درجه خودرو، فاصله سرعت حرکت و برد خودروها است، توانسته است تعداد خوشه کمتری ایجاد کند. به‌طوری‌که در هر یک از اجراها تعداد خوشه مناسب حاصل شده است. تعداد خوشه‌های به‌دست‌آمده در الگوریتم پیشنهادی رابطه مستقیمی با نحوه پخش آنها در جاده دارد. به‌طوری‌که هر چه خودروها دارای تراکم بیشتری در محیط باشد امکان دارد تعداد خوشه‌های به‌دست‌آمده کمتر شود.



(شکل-۹): تعداد خوشه‌های ایجادشده در دو روش PassCAR و GCAR با تعداد خودروهای مختلف

(Figure-9): Comparison of the number of created clusters in GCAR and PassCAR

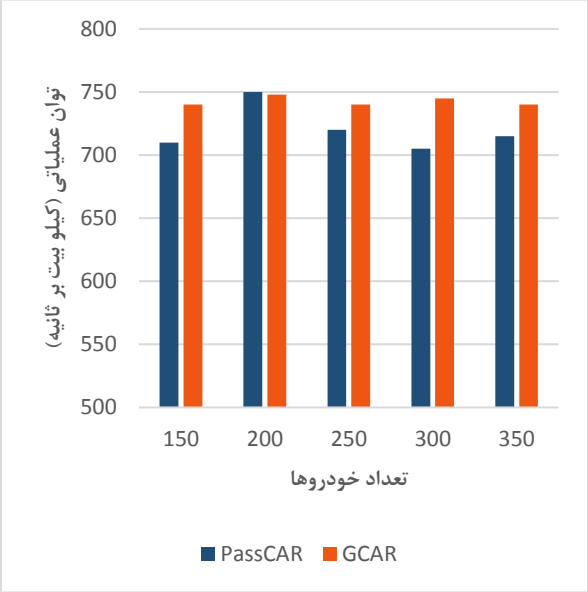
نتایج حاصل نشان‌دهنده مقیاس‌پذیری بالای الگوریتم پیشنهادی است؛ به‌طوری‌که در چگالی‌های مختلف تعداد خوشه‌های ایجادشده به‌طورتقریبی ثابت است. همچنین طبق نتایج حاصل کاهش تعداد خوشه‌ها در الگوریتم پیشنهادی موجب کاهش تأخیر انتها به انتها شده و سرعت واکنش‌ها در شرایط وقوع رخداد را کاهش می‌دهد.

- **مقایسه از نظر توان عملیاتی شبکه**

سومین پارامتر ارزیابی الگوریتم پیشنهادی توان عملیاتی است که نشان‌دهنده تعداد بیت ردوبدل‌شده در واحد زمان است که واحد آن نیز بیت بر ثانیه است. توان عملیاتی روش‌های مختلف از رابطه (۷) قابل محاسبه است.

$$Thr = \frac{Total\ amount\ of\ the\ transmitted\ data}{Time} \qquad (۷)$$

در شکل (۱۰) توان عملیاتی الگوریتم پیشنهادی با روش پایه مقایسه شده است. نکته قابل توجه این است که با افزایش نرخ انتقال، توان عملیاتی نیز افزایش می‌یابد؛ زیرا توان عملیاتی رابطه مستقیمی با نرخ انتقال اطلاعات دارد. با توجه به اینکه در الگوریتم پیشنهادی دو گره دروازه برای ارتباط بهتر بین خوشه‌های مجاور انتخاب می‌شود و این گره‌ها دورترین خودرو به سرخوشه مبدأ و نزدیک‌ترین خودرو به سرخوشه مقصد هستند، توان عملیاتی الگوریتم پیشنهادی بهتر از روش PassCAR است. درضمن درنظرگرفتن هم‌زمان سه پارامتر ارتباطات خودروها، پوشش خودروها و درجه خودروها موجب انتخاب گره‌های سرخوشه شایسته شده که موجب بهبود توان عملیاتی شبکه می‌شود.



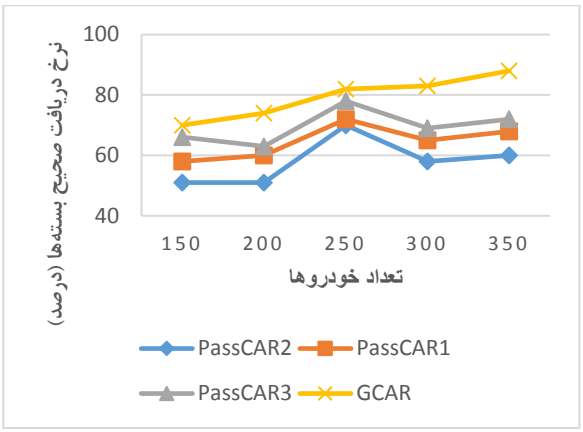
(شکل-۱۰): مقایسه توان عملیاتی دو روش PassCAR و GCAR با تعداد خودروهای مختلف

(Figure-10): Throughput of GCAR and PassCAR

- **مقایسه از نظر نرخ دریافت صحیح بسته‌ها**

این پارامتر برای مواقع اضطراری که لازم است بسته‌های اطلاع‌رسانی حادثه، به‌طور صحیح به تعداد زیادی از خودروها برسد بسیار حیاتی خواهد بود. نرخ دریافت صحیح بسته‌ها نشان‌دهنده نسبت بسته‌های اطلاعاتی دریافت‌شده به‌وسیلهٔ خودروی مقصد به تعداد کل بسته‌های ارسال‌شده به‌وسیلهٔ خودروی است. این پارامتر توسط رابطه (۸) قابل محاسبه است:

$$\mathrm{PDR} = \frac{\#\ received\ packets\ by\ destination\ vehicle}{\#\ sent\ packets\ by\ source\ vehicle} \qquad (۸)$$



(شکل-۱۱): مقایسه نرخ دریافت صحیح بسته‌ها در دو روش GCAR و PassCAR

(Figure-11): Packet delivery ratio of GCAR and PassCAR

در شکل (۱۱) نرخ دریافت صحیح بسته در الگوریتم پیشنهادی با سه نسخه مختلف PassCAR مقایسه شده است. در الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر خوشه‌بندی و به‌دلیل تشکیل زنجیره خودرویی بر اساس خودروهای دروازه تمام خودروها قادر هستند داده‌های تولیدشده را با تعداد گام کمتر به خودروی مقصد برسانند و درضمن شبکه در حالت پایدارتری قرار دارد؛ لذا با کاهش تعداد گام لازم برای انتقال، نرخ دریافت صحیح بسته‌ها در الگوریتم پیشنهادی نسبت به روش PassCAR بهبود داشته باشد.

همچنین برای بررسی پایداری و دقت الگوریتم پیشنهادی، انحراف معیار[1] و خطای استاندارد آن مورد بررسی قرار گرفته است. انحراف معیار به‌عنوان شاخص پراکندگی نشان می‌دهد که به‌طور میانگین داده‌ها چه مقدار از مقدار متوسط فاصله دارند. انحراف معیار از رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \mu)^2} \qquad (۹)$$

که N، x_i و μ به‌ترتیب نشان‌دهنده تعداد نمونه‌ها، i امین نمونه و میانگین نمونه‌ها هستند که میانگین نمونه‌ها از رابطه $\mu = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i$ محاسبه می‌شود. همچنین خطای استاندارد[2] نشان‌دهنده میزان نزدیکی میانگین نمونه به میانگین جمعیت است و از رابطه (۱۰) قابل محاسبه است:

$$S_e = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \qquad (۱۰)$$

[1] Standard Deviation (SD)
[2] Standard Error (SE)

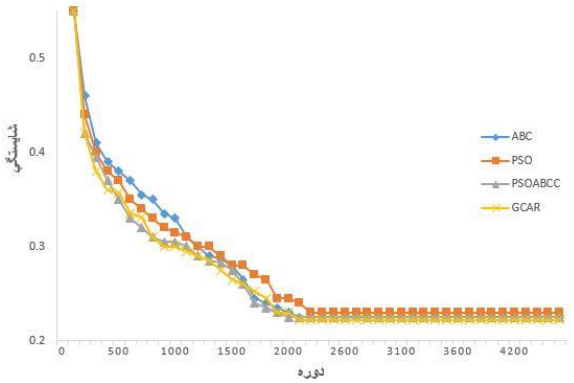
در جدول (۲) انحراف معیار و خطای استاندارد الگوریتم پیشنهادی در چگالی‌های مختلف و در چهار پارامتر ارزیابی مختلف آورده شده است.

(جدول-۲): انحراف معیار و خطای استاندارد الگوریتم پیشنهادی

(Table-1): Standard deviation and standard error of the proposed algorithm

	تعداد خودروها				
معیار ارزیابی	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۳۵۰
انحراف معیار	۰/۱۶۱	۰/۲۴۷	۰/۳۳۲	۰/۴۵۹	۱/۶۱۱
خطای استاندارد	۰/۰۵۷	۰/۱۰۱	۰/۱۲۵	۰/۱۷۳	۰/۲۳۱

در شکل (۱۲) هم‌گرایی الگوریتم پیشنهادی با سه الگوریتم ازدحام ذرات و زنبور عسل مصنوعی و ترکیب این دو که تحت عنوان PSOABCC شناخته می‌شود، مقایسه شده است. این شکل نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی از نظر سرعت هم‌گرایی به‌طورتقریبی با الگوریتم PSOABCC برابر است؛ ولی مقدار نهایی هم‌گراشده الگوریتم پیشنهادی کمتر از رویکردهای فرامکاشفه‌ایی مشابه است.



(شکل-۱۲): مقایسه هم‌گرایی الگوریتم GCAR و روش‌های مورد مقایسه

(Figure-12): Convergence diagram of GCAR and comparative methods

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک الگوریتم مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه شده است که برای جایگزینی جواب‌ها از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌شده استفاده می‌کند. در الگوریتم پیشنهادی با انتخاب دو گره دروازه در سمت چپ و راست خوشه‌ها یک ستون فقرات بین‌خودرویی تشکیل که موجب ایجاد ارتباط پایدار بین خوشه‌های ایجاد شده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی از نظر نرخ کشف مسیر، توان عملیاتی، تعداد خوشه تشکیل‌شده و نرخ دریافت صحیح بسته‌ها عملکرد بهتری نسبت به روش PassCAR دارد. همچنین نتیجه ارزیابی هم‌گرایی الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم PSOABCC نشان می‌دهد که GCAR از سرعت هم‌گرایی بالایی برخوردار است. همچنین نتایج ارزیابی انحراف معیار و خطای استاندارد الگوریتم پیشنهادی نشان‌دهنده پایداری بالای آن است.

۶- مراجع 6- References

[۱] ابراهیمی، افسانه و پور دانش، سیدعبید "استفاده از مسیریابی شبکه‌های رادیو شناختی جهت کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به کمک الگوریتم دایجکسترا"، *مجله دو فصلنامه مباحث برگزیده در انرژی*، جلد۱، شماره ۱، صفحات ۳۸-۳۱، ۱۳۹۶.

[1] A. Ebrahimi and S.O. Pourdanesh, "The Use of Cognitive Radio Networks Routing to Reduce Energy Consumption in Wireless Sensor Networks Dayjkstra Algorithm," *JSTE*, vol. 1, pp. 31–38, 2017.

[۲] شادنیا، آسیه و رموزی، مرتضی "ارایه بهبود استراتژی ارسال و مسیریابی در الگوی محتوا محور شبکه‌های خودرویی مبتنی بر نقشه جغرافیایی"، *مجله فصلنامه جاده*، جلد۴۹، شماره ۹۳، صفحات ۴۷-۳۱، ۱۳۹۶.

[2] A. Shadnia and M. Romoozi, "Proposing Enhanced Strategy for Transmitting and Routing In Content-Based Vehicular Ad Hoc Networks Based On Geographical Map," *Road Quarterly Journal*, vol. 25, pp. 31–38, 2018.

[۳] عرب‌نژاد، رعنا و بابائی، شهرام " ارائه یک الگوریتم مسیریابی مبتنی بر جهت حرکت و موقعیت خودروها برای شبکه‌های موردی بین‌خودرویی" *مجله علمی پژوهشی رایانش نرم و فناوری اطلاعات*، جلد ۹، شماره ۳، صفحات ۲۱۳-۲۰۶، ۱۳۹۹.

[3] R. Aranbezhad and S. Babaie, "A routing algorithm based on movement direction and position of vehicles for vehicular Ad hoc networks," *Journal of Soft Computing and Information Technology*, vol. 9, pp. 206–213, 2020.

[۴] ابراهیمی مود، سپهر، جاویدی، محمد مسعود و خسروی، محمدرضا " ارائه الگوریتم جست و جوی گرانشی مقید و حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه" *مجله فصل نامه پردازش علائم و داده‌ها*، جلد ۱۸، شماره ۴، صفحات ۳۶-۲۳، ۱۴۰۰.

[4] S. Ebrahimi Mood, M. M. Javidi, M. R. Khosravi, "Proposing a Constrained-GSA for the Vehicle Routing Problem," *Journal of Signal and Data Processing*, vol. 18 (4), pp. 23–36, 2022.

[5] H. Hartenstein and K. P. Laberteaux, "A tutorial survey on vehicular ad hoc networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 46, pp. 164–171, Jun. 2008.

[6] M. Afrashteh and S. Babaie, "A Route Segmented Broadcast Protocol based on RFID for Emergency Message Dissemination in Vehicular Ad-hoc Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technol.ogy*, vol. 69, pp. 16017-16026, 2020.

[7] A. Rasheed, S. Gillani, S. Ajmal, and A. Qayyum, "Vehicular Ad Hoc Network (VANET): A Survey, Challenges, and Applications," in *Vehicular Ad-Hoc Networks for Smart Cities*, A. Laouiti, A. Qayyum, and M. Mohamad Saad, Eds. Springer, Singapore, 2017, pp. 39–51.

[8] S. Boussoufa-lahlah, F. Semchedine, and L. Bouallouche-medjkoune, "Geographic routing protocols for Vehicular Ad hoc NETworks (VANETs): A survey," *Veh. Commun.*, vol. 11, pp. 20–31, 2018.

[9] A. Ullah, S. Yaqoob, M. Imran, and H. Ning, "Emergency Message Dissemination Schemes Based on Congestion Avoidance in VANET and Vehicular FoG Computing," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 1570–1585, 2019.

[10] C. Cooper, D. Franklin, F. Safaei, and M. Abolhasan, "A Comparative Survey of VANET Clustering Techniques," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 19, pp. 657–681, 2019.

[11] X. Zeng, M. Yu, and D. Wang, "A New Probabilistic Multi-Hop Broadcast Protocol for Vehicular Networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 67, pp. 12165–12176, 2018.

[12] F. Cunha *et al.*, "Data communication in VANETs: Protocols, applications and challenges," *Ad Hoc Networks*, vol. 44, pp. 90–103, 2016.

[13] F. Li, X. Song, H. Chen, X. Li, and Y. Wang, "Hierarchical routing for vehicular Ad Hoc networks via reinforcement learning," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 68, pp. 1852–1865, 2019.

[14] S. S. Wang and Y. S. Lin, "PassCAR: A passive clustering aided routing protocol for vehicular ad hoc networks," *Comput. Commun.*, vol. 36, pp. 170–179, 2013.

[15] K. C. Lin, J. C. Hung, and J. ting Wei, "Feature selection with modified lion's algorithms and support vector machine for high-dimensional data," *Applied Soft Computing Journal*, vol. 68. pp. 669–676, 2018.

[16] M. Fahad *et al.*, "Grey wolf optimization based clustering algorithm for vehicular ad-hoc networks," *Comput. Electr. Eng*, vol. 70, pp. 853-870, 2018.

[17] H. Bagherlou and A. Ghaffari, "A routing protocol for vehicular ad hoc networks using simulated annealing algorithm and neural networks," *J. Supercomput.*, vol. 74, pp. 2528–2552, Jun. 2018.

[18] S. Chatterjee and S. Das, "Ant colony optimization based enhanced dynamic source routing algorithm for mobile Ad-hoc network," *Inf. Sci. (Ny).*, vol. 295, pp. 67–90, 2015.

[19] D. Sedighizadeh and H. Mazaheripour, "Optimization of multi objective vehicle routing problem using a new hybrid algorithm based on particle swarm optimization and artificial bee colony algorithm considering Precedence constraints," *Alexandria Eng. J.*, vol. 57, pp. 2225–2239, 2018.

نیره سعیدی تحصیلات کارشناسی وکارشناسی ارشد خود را به‌ترتیب در رشته‌های ریاضی و مهندسی کامپیوتر گرایش نرم‌افزار در سال‌های ۱۳۷۸و ۱۳۹۸ از دانشگاه شهید مدنی آذربایجان و دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز دریافت کرده و زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه وی شبکه‌های رایانه‌ای (شبکه‌های حس‌گر بی‌سیم، شبکه‌های خودرویی) و هوش مصنوعی است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

nayyersaeedi@gmail.com

شهرام بابائی استادیار گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز است. ایشان عضو کمیته علمی چندین کنفرانس بین‌المللی مانند CSIT، EAME، DCNET، CYBI، SPTM و ICCCS بوده است. وی در حال حاضر عضو هیئت تحریریه مجلاتی مانند ASCS، IJRDO، IJESA، IJAMML، IJLTES، JEDT، IJCIT و ECIJ است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

sh.babaie@iaut.ac.ir