



## A Hybrid Multivariate Routing Approach for Improving Efficiency in VANETS

Mahmood Deypir<sup>1</sup>, Armin Maarefi<sup>2</sup>, Toktam Zoughi<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Associate Professor, Faculty of Computer Engineering, Shahid Sattari Aeronautical University of Science and Technology, Tehran, Iran.

<sup>2</sup>MSc, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

<sup>3</sup>Assistant Professor, Department of Electrical and Computer Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Shariaty College, Tehran, Iran.

### ARTICLE INFO

#### Article Type:

Original Research

**Received:** 11.11.2023

**Revised:** 12.28.2023

**Accepted:** 02.04.2024

#### Keyword:

VANET

Geographical Routing

Location based Routing

On-demand Routing

#### \*Corresponding Author:

Toktam Zoughi

**Email:** [tzoughi@shariaty.ac.ir](mailto:tzoughi@shariaty.ac.ir)

### ABSTRACT

VANETs (Vehicular Ad hoc NETWORKs) are a specific category of wireless ad-hoc networks that make up the essential part of intelligent transportation systems, with the help of which, cars can connect and exchange information. By providing vehicle data exchange such as status, position, and speed, it is possible to detect and prevent potential threats and risks. In this paper, VANETs and particularly their routing algorithms are discussed. Given the unique and challenging nature of vehicular networks such as speeding up and network fragmentation, efforts are being made to provide a more efficient algorithm. The proposed method uses a combination of demand-based routing and location-based routing features, as well as utilizing the features of lower network layers. That is, we exploited the benefits of previously proposed algorithms and attempted to remove their drawbacks. The method was tested and evaluated in a network simulator. Experiments were performed using number and speed manipulation of nodes, evaluating various parameters of packet delivery ratio, end-to-end latency, and efficiency. It was shown that the proposed algorithm performs better than previously proposed ones such as DSR, AODV, and OLSR in terms of end-to-end delay, packet delivery ratio, speed and efficiency.



---

**EXTENDED ABSTRACT**

---

**Introduction**

Recently, the focus on vehicular ad hoc network research has grown significantly, motivated by the automotive industry and government efforts to enhance the quality and security of transport networks, contributing to public safety and comfort. To achieve this, existing methods and protocols must be improved. Vehicular ad hoc networks face challenges such as dynamic topologies, which traditional routing methods cannot address. Challenges include scalability, high-speed node handling, resilience to adverse weather, reliability, channel saturation avoidance, and environmental compatibility. A new set of protocols and architectures capable of route estimation under variable speeds, locations, and directions, as well as in physically challenging conditions, are needed. Existing methods often lack adaptability and resilience, which are critical in smart vehicular networks aimed at preventing accidents and saving lives. Rapid communication among emergency vehicles is also crucial. Additionally, automotive companies are moving towards smart transport networks, which offer the benefits of internet access, traffic management, and time and fuel savings. Thus, a fast and efficient routing algorithm is essential. This paper introduces a new hybrid algorithm that incorporates the strengths of existing algorithms such as DSR, AODV, OLSR, and DSDV and shows better performance in various tests. This paper outlines the problem, reviews previous research, describes the new method, and compares it with others before concluding.

**Methodology**

The proposed algorithm was implemented and evaluated using the NS-3 network simulator. The necessary code was added to the algorithm depicted in Figure 2, and traffic generation was performed using the SUMO simulator. NS-3 was chosen as a suitable platform for simulating Vehicular Ad-Hoc Networks (VANETs) and allowed the integration of data obtained from SUMO.

To begin the implementation, the data obtained from SUMO was imported into NS-3. Subsequently, a comparison program was developed to evaluate the performance of the proposed algorithm against other existing algorithms. This step involved writing code to simulate the behaviour of comparable algorithms in the network.

The data obtained from the simulations was then analyzed and visualized using JavaScript to generate informative graphs and charts. This analysis allowed for a comprehensive evaluation of the performance of the proposed algorithm in comparison to the existing peer algorithms.

The methodology adopted in this research involved the following steps:

- 1- Implementation of the proposed algorithm in the NS-3 network simulator.
- 2- Integration of data generated by the SUMO simulator into NS-3.
- 3- Development of a comparison program to evaluate the proposed algorithm against other existing algorithms.
- 4- Analysis of simulation data to measure the performance of the proposed algorithm.

- 5- Visualization of the results through the creation of graphs and charts using JavaScript.

By following this methodology, we aimed to assess the effectiveness and efficiency of the proposed algorithm in improving network coverage and reducing unnecessary delays in VANETs.

In the next section, the results and findings obtained from the implementation and evaluation of the proposed algorithm are presented.

## **Results and discussion**

The proposed PA routing method was evaluated and compared with existing routing protocols in terms of end-to-end delay, packet delivery ratio (PDR), and throughput. The results showed that PA performed better in terms of end-to-end delay compared to most protocols, except for OLSR which utilizes the MPR concept. PA demonstrated improved PDR by considering node direction and link quality, leading to higher PDR compared to other methods. The evaluation also considered node speed, and PA consistently outperformed other methods in terms of PDR and end-to-end delay. Overall, PA proved to be a viable option for vehicular networks with better PDR and overall performance, although its average end-to-end delay was acceptable but not the best. Future research can focus on optimizing the proposed method to minimize end-to-end delay while maintaining its advantageous features.

## **Conclusion**

In this paper, we presented a combined algorithm for enhancing vehicular ad hoc network performance. The algorithm was derived through simulation and analysis of previous approaches, incorporating their positive aspects into a new method. The proposed algorithm outperformed previous methods in terms of packet delivery rate and overall efficiency while maintaining an acceptable average end-to-end delay. It leveraged reactive and location-based routing features, considering demand awareness and refining decision-making based on destination distance calculations. By incorporating node speed, direction, and link quality, it achieved more precise decision-making. Future work should aim to further enhance routing using location-based and heuristic algorithms, while also focusing on reducing energy consumption through novel approaches. In conclusion, the proposed PA routing method demonstrated improved performance in vehicular networks, surpassing previous algorithms in packet delivery rate and efficiency. Further optimization and energy consumption reduction are areas for future research.



# ارائه یک روش مسیریابی ترکیبی چند متغیره برای بهبود کارایی شبکه‌های خودرویی

محمود دی پیر<sup>۱</sup>، آرمین معارفی<sup>۲</sup>، تکتم ذوقی<sup>۳\*</sup>

۱- دانشیار، دانشکده رایانه و سایر، دانشگاه هوایی شهید ستاری، تهران، ایران.

۲- کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۳- استادیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، دانشکده شریعتی، تهران، ایران.

## چکیده

## اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۲۰

بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۰۷

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵

## کلید واژگان:

شبکه‌های خودرویی

مسیریابی جغرافیایی

مسیریابی مبتنی بر مکان

مسیریابی مبتنی بر تقاضا

\*نویسنده مسئول: تکتم ذوقی

پست الکترونیکی:

[t.zoughi@shariaty.ac.ir](mailto:t.zoughi@shariaty.ac.ir)

شبکه‌های خودرویی دسته‌ای خاص از شبکه‌های سیار بی‌سیم هستند که بخش ضروری سیستم‌های حمل و نقل هوشمند را تشکیل می‌دهند و با کمک آنها خودروها به یکدیگر متصل شده و تبادل اطلاعات می‌کنند. به وسیله تبادل داده‌های خودروها از قبیل وضعیت، موقعیت و سرعت، امکان تشخیص و جلوگیری از تهدیدات و خطرات محتمل فراهم می‌شود. در این مقاله، با توجه به خصوصیات منحصر به فرد و چالش برانگیز شبکه‌های خودرویی از قبیل تحرک بالا و تکه تکه شدن شبکه، سعی در ارائه الگوریتمی کارا تر برای مسیریابی در این نوع شبکه‌ها شده است. در روش پیشنهادی از ترکیب خصوصیات مسیریابی مبتنی بر تقاضا و مسیریابی مبتنی بر مکان در کنار بهره‌گیری از خصوصیات لایه‌های پایین تر شبکه، استفاده شده است. یعنی تلاش کرده‌ایم برای ارائه این الگوریتم از مزایای بهترین روش‌های این حوزه استفاده کنیم و حتی المقدور معایب روش‌های قبلی را حذف یا تعدیل کنیم. روش مذکور در شبیه‌ساز شبکه مورد آزمایش و ارزیابی قرار گرفته است. آزمایش‌های انجام گرفته با استفاده از دستکاری تعداد و سرعت گره‌ها، پارامترهای مختلف نرخ دریافت بسته، تأخیر انتها به انتها و توان عملیاتی را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهند که الگوریتم پیشنهادی نسبت به روش‌های رایج قبلی چون DSR، AODV و OLSR از جهاتی چون تأخیر انتها به انتها، نرخ انتقال بسته، توان عملیاتی و سرعت گره‌ها، بهتر عمل می‌کند.



## مقدمه

در سال‌های اخیر توجه به تحقیق و مطالعه پیرامون شبکه‌های خودرویی افزایش زیادی پیدا کرده است. این امر به دلیل تمایل شرکت‌های خودروسازی و نیز دولت‌ها به تزریق کیفیت و امنیت به شبکه‌های حمل و نقل می‌باشد. این موارد هر کدام به آسایش و ایمنی مردم بسیار کمک می‌کنند [۱؛ ۲]. بدیهی است که برای دست یافتن به این مهم، نیاز به بهبود روش‌ها و پروتکل‌های موجود می‌باشد. شبکه‌های خودرویی به دلیل تغییرات پیوسته در توپولوژی شبکه نیاز به روش‌های خاصی برای مسیریابی دارند که با روش‌های کلاسیک مسیریابی قابل حل نیست. چالش‌های اصلی در این نوع از شبکه‌ها عبارتند از: یک شبکه مقیاس‌پذیر که به خوبی با سناریوهای مختلف گره‌های با تراکم بالا و پایین کار کند، از عهده گره‌های با سرعت بالا بر بیاید، از مشکلات ناشی از آب و هوای بد رنج نبرد، قابل اطمینان باشد، کانال را اشباع نکند، و با محیط سازگار باشد. بنابراین ما نیاز به مجموعه‌ای جدید از پروتکل‌ها و معماری‌ها داریم که بر پایه تخمین مسیرهای وسایل نقلیه با آگاهی از سرعت، مکان، جهت آنها کار می‌کنند و نیز در شرایط فیزیکی نامساعد (تلفات بالا) قابل بهره‌برداری باشند. یکی از مهم‌ترین مواردی که پیرامون ضرورت وجود یک الگوریتم مسیریابی ترکیبی برای شبکه‌های VANET<sup>۱</sup> وجود دارد، عدم انطباق روش‌های دیگر (که عموماً بر روی یک جنبه خاص متمرکزند) با شرایط و مقاوم نبودن در برابر خطا است. این مسئله در شبکه‌های هوشمند خودرویی که یکی از اهدافشان حفظ جان مسافران و جلوگیری از بروز تصادفات است، می‌تواند بسیار حیاتی باشد. مورد مهم بعدی امکان ارتباط سریع بین خودروهای پلیس و یا آتش‌نشانی با هم‌دیگر است. علاوه بر اینها، شرکت‌های خودروسازی گرایش شدیدی به شبکه هوشمند حمل و نقل دارند که از آن می‌توان بهره‌وری‌های فراوان دیگری به دست آورد. دسترسی به اینترنت از طریق همین شبکه، مدیریت ترافیک، کاهش زمان تلف شده و کاهش مصرف سوخت، نمونه‌هایی از این بهره‌وری‌ها هستند. پر واضح است که برای این کاربردها نیز وجود یک الگوریتم مسیریابی سریع و کارآمد نیاز است. به همین منظور ما پس از بررسی الگوریتم‌های موجود مثل DSR<sup>۲</sup>، AODV<sup>۳</sup>، OLSR<sup>۴</sup> و DSDV<sup>۵</sup> الگوریتمی جدید و ترکیبی ارائه داده‌ایم که از مزایای سایر الگوریتم‌ها بهره می‌برد و نسبت به آنها کارایی بهتری از جهات مختلف دارد. در ادامه این مقاله، ابتدا بیان مسئله و سپس پیشینه تحقیق ارائه می‌گردد. سپس در بخش سوم روش پیشنهادی توصیف خواهد شد. پس از انجام آزمایش‌ها و مقایسه روش پیشنهادی با سایر الگوریتم‌های موجود در بخش چهارم، در نهایت مقاله در بخش پنجم جمع بندی می‌گردد.

## بیان مسئله و پیشینه تحقیق

با توجه به کاهش هزینه‌ها و تکامل سریع در فناوری‌های ارتباط بی‌سیم، این فناوری‌ها به طور گسترده‌ای در برنامه‌های کاربردی مختلف قابل استفاده هستند. یکی از این برنامه‌ها، شبکه‌های ارتباطی خودرویی هستند. اگر این وسایل بی‌سیم قادر به ارائه خدمات ایمنی و رفاهی برای خودروها باشند، رونق و پذیرش بالایی خواهند داشت. شبکه‌های ارتباطی خودرویی تنها برای سرگرمی و تفریح نیستند؛ هدف اصلی آنها جلوگیری از تصادفات است. به عنوان مثال، با انتشار دوره‌ای اطلاعاتی مانند موقعیت و سرعت خودرو و همچنین سیستم‌های امنیتی برای شناسایی موقعیت‌های خطرناک برای راننده، می‌توان به کاهش تصادفات کمک کرد. همچنین، برنامه‌های رفاهی می‌توانند راحتی و آسایش

<sup>1</sup> Vehicular Ad hoc NETWORKS

<sup>2</sup> Dynamic Source Routing

<sup>3</sup> Ad-hoc On-demand Distance Vector

<sup>4</sup> Optimized Link State Routing

<sup>5</sup> Destination-Sequenced Distance Vector

راننده و سرنشینان را افزایش دهند. این برنامه‌ها می‌توانند مسیرهای بهتر بر اساس شرایط ترافیک، دسترسی به اینترنت، بازی، به اشتراک گذاری فایل و خدمات P2P، باشند.

شبکه‌های ارتباطی خودرویی بر اساس ویژگی‌های زیر شناخته می‌شوند: (۱) سرعت بالای وسایل نقلیه؛ (۲) شناسایی عوامل محیطی مانند موانع، تونل‌ها، ترافیک و غیره؛ (۳) الگوهای حرکتی مشخصی که به مسیر و شرایط ترافیکی بستگی دارد؛ (۴) ارتباطات مداوم (به دلیل تقسیم شدن شبکه به قطعات کوچکتر) و کانال‌های پرازدحام (به عنوان مثال به دلیل تراکم گره‌ها). با توجه به گستردگی جغرافیایی و اهمیت شبکه‌های ارتباطی خودرویی، مسیریابی داده و ترافیک ارتباطات در این شبکه‌ها بسیار حائز اهمیت است. الگوریتم مسیریابی باید در شرایط مختلف، سرعت، دقت و قابلیت اطمینان لازم را داشته باشد. در این مقاله، به مسئله مسیریابی داده در شبکه‌های ارتباطی خودرویی پرداخته و سعی شده است یک الگوریتم بهتر ارائه شود. تحقیقات نشان داده است که الگوریتم‌های موجود در این نوع شبکه‌ها کارایی لازم را ندارند، که این نتیجه از طریق بررسی الگوریتم‌ها در این شبکه‌ها و شبیه‌سازی آنها در محیط NS-۳ به دست آمده است. در نتیجه، با توجه به موارد مذکور، این مقاله سعی دارد به مسئله مسیریابی داده در شبکه‌های ارتباطی خودرویی پرداخته و الگوریتمی کارا ارائه کند که توانایی مسیریابی داده‌ها را با سرعت، دقت و قابلیت اطمینان لازم برای شرایط مختلف داشته باشد.

پروتکل‌های مختلفی برای شبکه‌های خودرویی (VANET) و بهبود کارایی آنها ارائه شده‌اند [۶-۳]. مقایسه‌هایی نیز درباره این پروتکل‌ها از نظر جوانب مختلف صورت گرفته است [۷-۱۲]. با این حال، به دلیل ویژگی‌ها و چالش‌های یک شبکه VANET، هنوز توانایی ارائه یک پروتکل کارا و قابل اعتماد و همچنین عملی شدن آن وجود ندارد و همچنان احساس می‌شود که یک خلأ در مورد یک پروتکل کارا و قابل اعتماد وجود دارد [۱۳؛ ۱۴]. در مقاله [۶]، یک روش با ترکیب الگوریتم کلونی مورچگان و الگوریتم DSR ارائه شده است. در اینجا دلایل استفاده از الگوریتم مورچگان به شرح زیر توضیح داده شده است: این الگوریتم به دلیل داشتن ویژگی‌های توپولوژی متغیر، ارزیابی کیفیت انتقال داده در لینک‌ها، انتخاب مسیر در زمان مناسب، با سهولت می‌تواند برای مسیریابی در شبکه‌های ad hoc متحرک استفاده شود. همچنین، الگوریتم DSR با ارائه اطلاعاتی مانند سرعت و موقعیت خودروها، در طراحی یک الگوریتم مبتنی بر الگوریتم مورچگان به طور معنی‌داری کمک می‌کند. نتایج به دست آمده عبارتند از: دقت بیشتر در یافتن مسیرها با در نظر گرفتن تغییرات مداوم در محیط، کاهش زمان تأخیر در شبکه و بهبود کارایی نسبت به الگوریتم DSR موجود. در مقاله [۱۵]، یک روش ترکیبی پیشنهاد شده است، که یک روش ترکیبی مبتنی بر مختصات است و ویژگی‌های مسیریابی واکنشی را با مسیریابی جغرافیایی مبتنی بر مختصات ترکیب می‌کند. در این مقاله و در طی ارزیابی‌های شبیه‌سازی، نشان داده شده است که روش پیشنهادی کاهش قابل توجهی را در مورد سربار مسیریابی نسبت به پروتکل‌های معمول واکنشی و جغرافیایی دارد. به عقیده پژوهشگر، این پروتکل پیشنهادی همچنین در مواقع خطاهای مکانی نیز عملکرد مناسبی دارد و با کاهش سربار، عملکرد شبکه را بهبود می‌بخشد. در نتیجه، این پروتکل پیشنهادی مناسب برای تولید یک شبکه قابل مقیاس است.

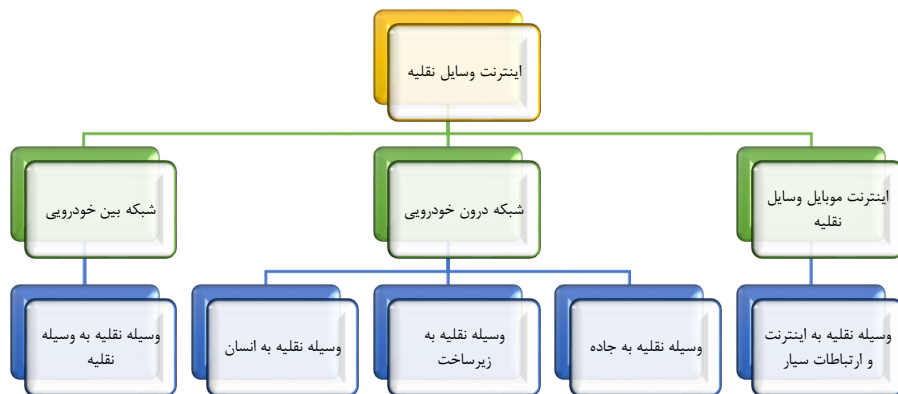
محققان یک روش جالب را در [۱۶] ارائه داده‌اند که به ادعای آنها علاوه بر افزایش کارایی پروتکل مسیریابی، باعث کاهش مصرف انرژی نیز شده است. در واقع چهار مورد بهبود را در مسیریابی برای شبکه‌های VANET ارائه داده‌اند: افزایش طول عمر شبکه با کاهش مصرف انرژی، توزیع ترافیک در میان گره‌ها (شکل دهی ترافیک)، جلوگیری از تقسیم شبکه به قسمت‌های کوچکتر و تحمل‌پذیری در برابر خطا. محققان برای روش ارائه شده شان میزان قابلیت اطمینان یک مسیر، میزان ترافیک مسیر و نیز مصرف انرژی در طول مسیر را به فاکتورهای مسیریابی AODV اضافه کرده‌اند. به عقیده آنان شرط الگوریتم AODV برای انتخاب مسیر بهینه از میان مسیرهای کشف شده یعنی تعداد گام‌های مسیر برای انجام کار مورد نظر کافی نمی‌باشد؛ تعداد پایین گام‌ها در یک مسیر همیشه به معنای مسیر بهینه نمی‌باشد. یکی از مشکلاتی که بر این روش وارد می‌باشد افزایش زمان مرحله اکتشاف مسیر است. البته این الگوریتم ویژگی‌های خوبی

دارد، از جمله این که ما را مطمئن می‌سازد که مسیرها شامل حلقه نباشند و همواره به دنبال کوتاه‌ترین مسیر است. در صورت وجود خطا مسیرهای جدید را پیدا و جایگزین می‌کند. این الگوریتم به سرعت با شرایط پویای مسیرها هماهنگ می‌شود و به توان پردازشی و حافظه کمی نیاز دارد. کاری که در [۱۷] انجام شده است، ارتقای الگوریتم GPSR بوده است. نویسندگان این مقاله الگوریتم پیشنهادی را I-GPSR(Improved GPSR) نام نهاده‌اند که نباید با E-GPSR(Enhanced GPSR) اشتباه گرفته شود. I-GPSR همان GPSR است با این تفاوت که بر سرعت و جهت حرکت خودروی انتخابی مبتنی است. این الگوریتم پیام را برای خودرویی می‌فرستد که اولاً بالاترین سرعت را دارد و ثانیاً در مسیر حرکت مقصد، حرکت کند. این مقاله چهار پارامتر نسبت انتقال بسته، توان عملیاتی، تأخیر زمانی و بار شبکه را در هر سه الگوریتم فوق وارد و با استفاده از شبیه ساز ns2 مورد بررسی قرار داده است. نتایج به دست آمده حاکی از برتری I-GPSR نسبت به دو مورد دیگر است. دلایل دیگر محققان برای برتری الگوریتم پیشنهاد شده شان به این شرح است: ارائه امنیت بهتر به دلیل این که پیام‌ها به همه خودروها ارسال نمی‌شوند، ارائه زمان کمتر برای انتقال پیام به دلیل این که پیام فقط به وسیله بالاترین سرعت ارسال می‌شود. بر طبق تحقیقات انجام شده در [۵] بسیاری از جنبه‌های پروتکل‌های فعال و واکنشی مورد بررسی و قیاس قرار گرفته‌اند. در این مقاله همچنین به جنبه‌های گسترده کاربرد شبکه‌های MANET اشاره شده است. ایرادی که به این مقاله از طرف ما وارد است، این است که هر کدام از پروتکل‌های هر دسته را فقط با دیگر پروتکل‌های همان دسته مقایسه کرده است، در حالی که باید یک مقایسه کلی هم میان هر دو دسته انجام می‌شد. در جدول ۱ به بررسی مزایا و معایب چند روش مطرح، در شبکه‌های موردی خودرویی می‌پردازد. همچنین در ستون آخر این جدول شرح مختصری از این روش‌ها بیان شده است.

#### جدول ۱. بررسی روش‌های پیشین و مقایسه مزایا و معایب آنها.

نام روش	مزایا	معایب	شرح روش
Advantages of Vehicular Ad hoc Networks (VANETs) [۱۸]	شبکه‌های ad hoc خودرویی (VANET) با تبادل اطلاعات در مورد وضعیت جاده و تصادفات، ایمنی راه‌ها را افزایش می‌دهند. این اطلاعات به سرعت به خودروهای دیگر منتقل می‌شوند و آگاهی رانندگان را افزایش داده و زمان واکنش را کاهش می‌دهند. همچنین استفاده از الگوریتم‌های هوشمند، VANET می‌تواند ترافیک را بهبود داده و زمان سفر را کاهش دهد.	VANET‌ها با مشکلات امنیت و حریم خصوصی مواجه هستند. ارسال اطلاعات حساس می‌تواند به ریسک افشای اطلاعات شخصی و هک شدن منجر شود. تاکتیک‌های حمله مانند جعل پیام‌ها و تغییر مسیرها نیز مشکلاتی را ایجاد می‌کنند. توسعه روش‌ها و پروتکل‌های امنیتی قوی برای مقابله با این تهدیدات ضروری است.	VANET (Vehicular ad hoc networks) ارتباط بین خودروها و زیرساخت‌های جاده‌ای را فراهم می‌کند. این شبکه‌ها اطلاعات ترافیک و ایمنی را بین خودروها به اشتراک می‌گذارند. از فناوری‌های بی‌سیم مانند WLAN، DSRC، LTE و 5G استفاده می‌کنند و خدمات اضطراری و تعامل بین خودروها را فراهم می‌کنند. VANET بهبود ایمنی و کارایی رانندگی و توسعه خودروهای هوشمند را تسهیل می‌کند.
Dynamic Source Routing [۱۹]	پروتکل فعال در ارتباطات بی‌سیم، نیاز به به‌روزرسانی جدول مسیریابی را حذف کرده و مسیرها تنها زمان نیاز ایجاد می‌شوند. این روش هزینه کنترلی را فراهم می‌کند و گره‌های میانی از اطلاعات حافظه مسیر به طور مؤثر استفاده می‌کنند.	پروتکل DSR برای مسیریابی در شبکه‌های بی‌سیم استفاده می‌شود. اما ناتوان در تعمیر ارتباط خراب و ناهماهنگی‌های کش حافظه مسیر از جمله معایب آن هستند. دو مرحله اصلی آن شامل کشف مسیر و نگهداری مسیر است. در صورت خطا، بسته‌های خراب مسیر تولید می‌شوند و مسیر خراب حذف می‌شود.	DSR یک پروتکل مسیریابی بی‌سیم است. دو فاز اصلی آن شامل کشف مسیر و نگهداری مسیر است. در فاز کشف مسیر، گره منبع پیام‌های درخواست مسیر را پخش کرده و گره مقصد با ارسال پاسخ، مسیر را ارسال کننده مشخص می‌کنند. در صورت خطا، پیام‌های خطا مسیر تولید و مسیر خراب حذف می‌شود.

نام روش	مزایا	معایب	شرح روش
Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing [۲۰]	AODV از مسیرهای بسته شده استفاده نمی‌کند و ترافیک اضافی ایجاد نمی‌کند. الگوریتم بی‌اثر است مگر در صورت نیاز به ارسال بسته به مسیر ناشناخته. این الگوریتم تأثیر می‌گذارد. بر اساس مسیریابی بردار فاصله ساده عمل می‌کند و نیاز به حافظه بزرگ ندارد.	پروتکل AODV زمان بیشتری برای ارتباط بین گره‌ها نیاز دارد و می‌تواند تأخیر در ارسال بسته‌ها ایجاد کند. همچنین، حساسیت زیادی به تغییرات توپولوژی شبکه دارد و ممکن است با مشکلاتی در برقراری و حفظ مسیرها مواجه شود.	AODV یک پروتکل مسیریابی برای شبکه‌های بی‌سیم بدون ساختار است. توسط چارلز پرکینز و الیزابت رویبر توسعه داده شده است. استفاده از AODV در Zigbee و شبکه‌های بی‌سیم کم سرعت رایج است. از این پروتکل برای جستجوی مسیرها و ارسال بسته‌ها استفاده می‌شود.
Optimized Link State Routing [۲۱]	مزایای روتینگ بهینه‌شده بر اساس وضعیت لینک عبارتند از: شناخت و حفظ مسیرها، کاهش تأخیرهای کشف مسیر، کنترل روتینگ هدر، قابلیت درج مسیرهای پیش‌فرض و شبکه، بهبود مصرف انرژی و منابع، حذف سربرها در پخش اطلاعات، و استفاده از مقادیر زمان‌سنجی متفاوت در گره‌های مختلف.	معایب روتینگ بهینه‌شده بر اساس وضعیت لینک شامل عدم دریافت کیفیت لینک اولیه OLSR، مصرف انرژی بالا، نامناسب برای شبکه‌های حسگری با محدودیت انرژی، نیاز به پهنای باند و قدرت CPU برای محاسبه مسیرهای بهینه در شبکه بزرگ است.	OLSR، پروتکل مسیریابی بر اساس وضعیت لینک، برای شبکه‌های بی‌سیم ادهاک متنقل و بی‌سیم ادهاک طراحی شده است. با استفاده از پیام‌های hello و کنترل توپولوژی، OLSR اطلاعات وضعیت لینک را در سراسر شبکه کشف و انتشار می‌دهد تا مسیریابی بهینه در شبکه‌های ادهاک متنقل فراهم شود.
Destination-Sequenced Distance Vector [۲۲]	دسترسی به مسیرها و به تمام مقصدهای شبکه و تنظیم مسیر با کمترین تأخیر اهمیت دارد. روش به‌روزرسانی تدریجی با برجسب شماره توالی، سازگاری با پروتکل‌های شبکه سیمی را در شبکه‌های بی‌سیم اتونوم فراهم می‌کند. پروتکل‌های شبکه سیمی با تعدیل کم در شبکه‌های بی‌سیم اتونوم قابل استفاده هستند.	DSDV نیازمند به‌روزرسانی منظم جداول مسیریابی است و در شبکه‌های آرام، منابع کمتری مصرف می‌کند. اما در شبکه‌های بزرگ و پویا، نامناسب است و نیاز به شماره توالی جدید برای بازگرداندن شبکه دارد.	DSDV جدول مسیریابی بردار فاصله با توالی مقصد، بر اساس الگوریتم بلمن-فورد، برای شبکه‌های بی‌سیم اتونوم است. این الگوریتم برای حل مسئله حلقه مسیریابی استفاده می‌شود. اطلاعات مسیریابی از طریق ارسال دامپ کامل و به‌روزرسانی‌های جزئی پخش می‌شوند.



شکل ۱. طبقه‌بندی اینترنت وسایل نقلیه.

در شکل ۱ طبقه‌بندی اینترنت وسایل نقلیه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده است «اینترنت وسایل نقلیه» به سه دسته، اینترنت موبایل وسایل نقلیه، شبکه درون خودرویی و شبکه بین خودرویی دسته‌بندی می‌شود. هر کدام از این سه دسته نیز به زیر دسته‌هایی طبقه‌بندی می‌شوند که در شکل نشان داده شده است.

## روش پیشنهادی

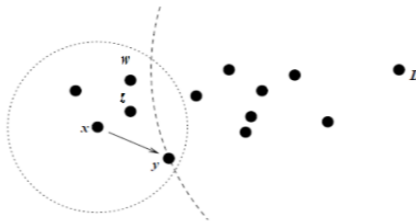
در این بخش به تفصیل به شرح روش پیشنهادی می‌پردازیم. ابتدا توضیح می‌دهیم که ایده اصلی چیست و از کجا به آن رسیده‌ایم. سپس به توضیح الگوریتم مورد نظر می‌پردازیم. ایده اولیه از ارزیابی و مطالعه روش‌های پیشین نشأت گرفته است. با مطالعه الگوریتم‌های AODV، DSR، DSDV، GPSR، OLSR، نتایج به‌دست آمده از مقالات [۲۳-۲۵] و انجام آزمایش توسط نویسندگان مقاله در شبیه‌ساز NS-۳ این نتایج به‌دست آمد: AODV در مورد توان عملیاتی و نرخ دریافت بسته<sup>۱</sup> (PDR)، در بسیاری از سناریوها مانند افزایش تحرک و چگالی گره‌ها، از تمام پروتکل‌ها رفتار بهتری نشان داد. البته در چگالی‌های بالاتر GPSR رفتار بهتری از نظر دو پارامتر ذکر شده نشان داد. هر چند که با افزایش ناگهانی تحرک و چگالی گره‌ها، GPSR کمی افت می‌کند که به دلیل عدم وجود پارامتر جهت در آن است. در مورد تأخیرهای انتها به انتها و تأخیر ارسال اولین، به ترتیب پروتکل‌های OLSR و GPSR رفتار بهتری نسبت به AODV نشان داده‌اند [۲۶]. الگوریتم‌های DSR و DSDV رفتارهای مناسبی از نظر پارامترهای ذکر شده از خود نشان ندادند. بنابراین آنها از راستای کار ما حذف شدند.

با وجود تفاسیر بالا ترکیب ایده‌های مختلف در پروتکل‌های موجود را مدنظر قرار داده‌ایم. یعنی قصد داریم موارد مثبت هر کدام از الگوریتم‌ها را حتی المقدور با هم ترکیب کنیم. در واقع به نحوی ایده‌های موجود در GPSR (استفاده از مکان گره‌ها) و AODV (بر حسب تقاضا بودن و نیز SourceId و DestId) را که به صورت کلی از الگوریتم‌های دیگر بهتر بودند، با هم ترکیب شدند. هر گره به گونه‌ای است که فقط اطلاعات محلی را نگه می‌دارد. یعنی اطلاعات در مورد همسایه‌ها که این امر به مسیریابی در شبکه‌های متحرک و بزرگ با کاهش سربار، بسیار کمک می‌کند. علاوه بر این موارد، بر اساس آزمایش‌ها تجربی استفاده از فاکتورهای نظیر پهنای باند، میزان ترافیک شبکه، تعداد بسته‌های منتظر در صف یک گره، و غیره را مدنظر قرار دادیم که بدیهی است تأثیر خود را در کارایی خواهند داشت. حال هر کدام از

<sup>1</sup> Packet Delivery Ratio (PDR)

این پارامترها تأثیر خاصی دارند (میزان زیاد یا کم بودن تأثیر هر کدام در شرایط مختلف فرق دارد). مثلاً در شبکه‌ای نیاز به پهنای باند بیشتری است، بنابراین در آنجا تأثیر دادن فاکتورهای دیگر کار درخوری نیست. بنابراین از یک تابع وزن استفاده شده است که هر پارامتر در آن ضریبی دارد. همچنین در روش پیشنهادی ما از روشی مشابه آنچه که در [۲۷] ارائه شده است نیز استفاده شده است. البته فقط قسمتی از آن که برای کاهش میانگین تأخیر انتها به انتها است به کار گرفته شده است. این مکانیزم نیز با توصیفات بالا ترکیب شده است. توضیح کامل را در بخش بعد آمده است. در ادامه به جزئیات مربوط به روش انجام کار در الگوریتم پیشنهادی، پرداخته شده است.

پایه روش پیشنهادی الگوریتم AODV است که به سری خصوصیات دیگر به آن افزوده شده است، در واقع ADOV با یک مکانیزم مکانی و مکانیزم وزنی ترکیب شده است. یعنی برای forwarding بسته‌ها از گره‌های با مکان بهتر نسبت به مقصد و دارای وزن بهتر استفاده می‌کند. در این روش هیچ مسیری تا قبل از ارسال واقعی بسته‌ها ایجاد نمی‌شود، یعنی به محض ایجاد درخواست، عملیات forwarding آغاز می‌شود. به عبارتی دیگر چیزی به اسم مسیر (مجموعه‌ای از گره‌ها و لینک‌ها) در اینجا وجود ندارد و نگهداری نمی‌شود. کل عملیات به صورت مولتی هاپ اجرا می‌شود تا بسته مورد نظر به مقصد برسد. قبل از هر چیزی برای این که پروتکل قادر به انجام تصمیم‌گیری برای یافتن بهترین هاپ بعدی باشد، به مکانیزمی جهت شناخت همسایه‌ها نیاز است. بدین منظور بسته‌های موسوم به HELLO به صورت دوره‌ای به گره‌های همسایه هر گره ارسال می‌شود. منظور از گره همسایه گرهی است که یک هاپ با گره مورد نظر فاصله دارد (یعنی در محدوده همدیگرند). این بسته‌ها جهت شناخت همسایه‌ها و تصمیم‌گیری بهترند پس موارد زیر در آن گنجانده شده است: شناسه گره (NodeId) که گره مورد نظر را یکتا می‌کند، مکان گره نسبت به مختصات شبیه‌ساز بر حسب  $x$  و  $y$ ، سرعت گره، جهت گره که بر حسب زاویه محاسبه می‌شود و شناسه جاده. لازم به ذکر است که در دنیای واقعی برای گرفتن اطلاعات مکانی از یک location service استفاده می‌شود، که در محیط شبیه‌ساز به همان مختصات  $(x, y)$  اکتفا شده است. دلیل در نظر گرفتن شناسه جاده نیز بهتر کردن تصمیم‌گیری در محیط‌های بزرگراهی (دوطرفه) بوده است. تصویری ساده از نحوه کار روش پیشنهادی در شکل ۲ نمایش داده شده است. همچنین شکل ۳ فلوجارت الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل ۲. نزدیکترین همسایه‌ها به مقصد و انتخاب بهترین بر اساس تابع وزن.

در شکل ۲،  $x$  می‌خواهد به  $D$  داده بفرستد. ابتدا نزدیکترین همسایه‌ها را می‌یابد یعنی  $w$ ،  $z$  و  $y$ . سپس از میان آنها بهترین را بر اساس تابع وزن انتخاب می‌کند و داده‌ها را به آن گره باز ارسال می‌کند. با توجه به تفاسیر ذکر شده، در هر گره دو جدول در نظر گرفته شده است: جدول همسایه و جدول مسیریابی. جدول همسایه، جهت نگهداری خصوصیات همسایه‌ها که به صورت جدول ۲ است:

## جدول ۲. ستون‌های جدول همسایه.

Extra	RoadId	Heading	Velocity	Position	NodeId	NodeIP
-------	--------	---------	----------	----------	--------	--------

همچنین جدول مسیریابی که برای هر مقصد، گره بعدی را در خود نگه می‌دارد. در صورت وجود درخواست ارسال بسته‌ای به مقصدی مشخص، فرستنده جدول مسیریابی را جستجو می‌کند تا رکوردی برای آن مقصد بیابد. اگر چنین رکوردی موجود نباشد، شروع به محاسبه می‌کند. ابتدا در جدول همسایگی جستجو می‌کند تا  $x$  عدد از نزدیکترین گره‌ها به مقصد را بیابد.  $x$  به عنوان پارامتر ورودی به شبیه‌ساز داده می‌شود. سپس در میان این گره‌ها مقدار وزن را بر حسب تابع زیر می‌یابد:

$$W = a.v + b.h + c.r + d.q + e.s \quad (1)$$

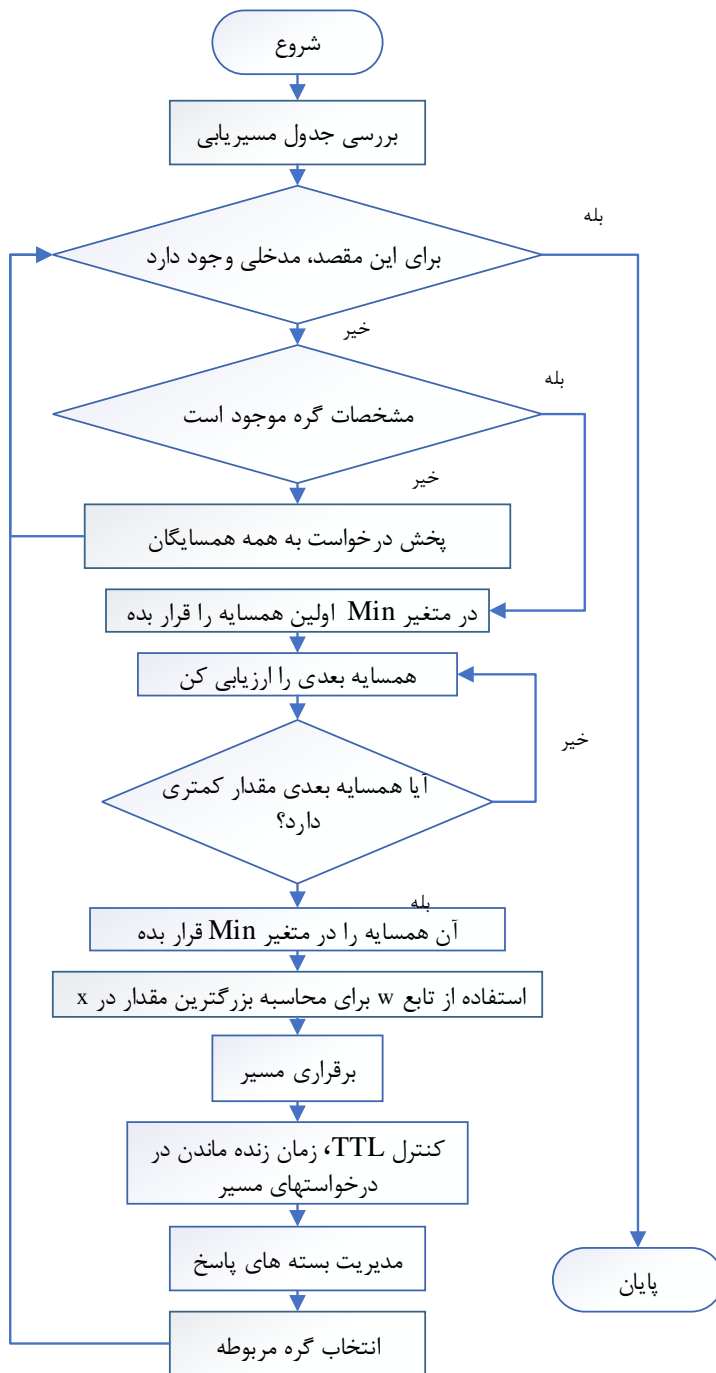
که در آن  $a, b, c, d, e$  مقادیر وزنی‌اند و میزان تأثیرگذاری هر کدام از پارامترهای  $v, h, r, q$  و  $s$  را مشخص می‌سازند که پارامتر ورودی شبیه سازند،  $v$  سرعت گره است،  $h$  بر حسب جهت محاسبه می‌شود و مقدار آن ۱، در صورتی که جهت بردار سرعت گره‌ها موازی و ۱-، در غیر این صورت است.  $r$  بر حسب RoadId محاسبه می‌شود و مقدار آن ۱، در صورتی که دو گره در یک جاده باشند و ۱-، در صورتی که این گونه نباشد،  $q$  تعداد بسته‌های موجود در صف گره می‌باشد. مقدار  $c$  باید عددی منفی باشد و  $s$  مقدار SNR لینک است. در نهایت تصمیم‌گیری بر اساس مقدار  $W$  بیشتر انجام می‌گیرد. یعنی فرستنده بسته را به گره با  $W$  بیشتر forward می‌کند. در صورت وجود نداشتن اطلاعات از قبیل مکان، سرعت و موارد دیگر، بسته به تمامی گره‌های همسایه broadcast می‌شود. در هر حال این عمل تا رسیدن به مقصد در هر گره تکرار می‌شود. لازم به ذکر است که هر بسته درخواستی حاوی دو فیلد شماره مبدأ source sequence number و شماره مقصد destination sequence number است که اولی برای گره مقصد می‌باشد که همواره به مقدار بیشتر پاسخ می‌دهد و دومی برای گره‌های میانی و جلوگیری از حلقه است که همواره به مقدار بالاتر پاسخ می‌دهند. روش مبنا به این صورت کار می‌کند که سه مکانیزم زیر را برای مدیریت طول عمر بسته‌های درخواست و جواب به کار می‌گیرد: هنگامی که گره مبدأ شروع به ارسال بسته درخواست می‌کند آن را با  $TTL=1$  مقداردهی می‌کند. حال اگر مقصد در محدوده مبدأ نباشد (یک هاپ فاصله) و با این که همسایه‌ها مسیری به مقصد نداشته باشند (منظور اینست که در جدول؛ مسیر همسایه بعدی مشخص باشد)، مقدار  $TTL$ ، ۲ واحد افزوده می‌شود. حال اگر گره مقصد باز هم پیدا نشود، گره مبدأ دوباره  $TTL$  را ۲ واحد افزایش می‌دهد و بسته درخواست را همه پخش می‌کند. روش مبنا برای بسته‌های درخواست ۳ تکرار را پیش‌بینی کرده است. سرانجام مقدار  $TTL$  برابر با اندازه شبکه می‌شود و بسته درخواست به کل شبکه همه پخش می‌شود. در انتها گره مبدأ بسته، درخواست را می‌گیرد و از همان مسیر، بسته جواب را ارسال می‌کند.

در روش مبنا برای کاهش ازدحام در شبکه، یک گره پس از ارسال بسته درخواست به میزان زمان گذر از شبکه برای دریافت جواب منتظر می‌ماند. اگر بسته جواب در زمان مورد نظر نرسد، گره مبدأ یک بسته درخواست دیگر را می‌فرستد. حال برای این بسته دوم، مدت زمان انتظار ۲ برابر زمان گذر از شبکه در نظر گرفته می‌شود. برای کاهش بیشتر تأخیر انتها به انتها نیز این مکانیزمی به صورت زیر به کار گرفته شده است:

مقدار  $TTL$  را ۳ واحد افزایش می‌دهیم در نتیجه گره‌های بیشتری با تلاش‌های کمتر، پوشش داده می‌شوند و نیز تأخیرهای غیر ضروری در شبکه کاهش می‌یابند. میزان زمان انتظار برای دریافت جواب ارسال دوم به بعد بسته‌ای که ارسال شده و جواب دریافت نکرده به میزان ۱.۵ برابر زمان گذر از شبکه در نظر گرفته شد که این نیز تأخیرهای غیر ضروری را در شبکه کاهش می‌دهد. البته  $TTL$  نیز به یک آستانه نیاز دارد. در روش پیشنهادی با توجه به اندازه شبکه،

این مقدار به تناسب افزایش یافته است که این نیز احتمال ذخیره مسیره‌های تاریخ مصرف گذشته را کاهش داده و نیز تعداد بسته‌های درخواست برای رسیدن به مقصد هم کاهش یافته‌اند.

پیاده‌سازی الگوریتم شکل (۳) در NS-۳ با اضافه کردن کدهای لازم به آن انجام شده است، زیرا تولید ترافیک در شبیه‌ساز SUMO، انجام شده است. در واقع، NS-۳ مدل مناسبی برای شبیه‌سازی VANET به صورت خاص منظور ندارد. وارد کردن داده به دست آمده از SUMO در NS-۳ و سپس نوشتن برنامه مقایسه‌گر الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌های هم‌تا، مرحله بعدی پیاده‌سازی انجام شده است. تحلیل و نمایش داده‌های به دست آمده در قالب نمودار با استفاده از جاوا اسکریپت انجام است.



شکل ۳. فلوچارت الگوریتم پیشنهادی.

## نتایج و بحث

در این بخش به اجرای الگوریتم پیشنهادی توسط شبیه‌ساز که در بخش قبلی در مورد آن (ها) توضیح داده شد می‌پردازیم. در این آزمایش سه پارامتر نرخ دریافت بسته یا به اختصار PDR، میانگین تأخیر انتها به انتها و توان عملیاتی مورد بررسی قرار می‌گیرند. در تست اول تعداد گره‌ها تغییر می‌یابند و در آزمایش دوم میزان سرعت گره‌ها. رفتار پروتکل‌های رایج AODV، OLSR، DSR، DSDV به همراه الگوریتم پیشنهادی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### مقایسه بر اساس تعداد گره‌ها

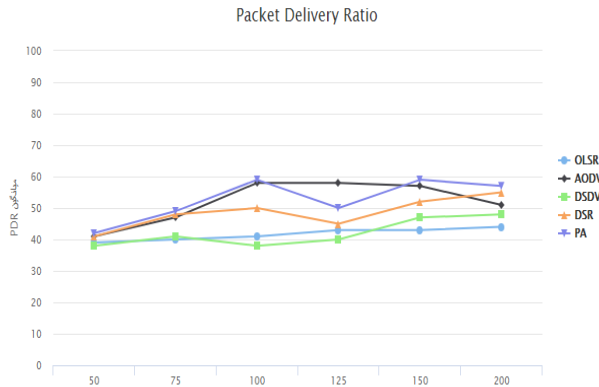
برای تعداد گره‌های ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵، ۱۵۰ و ۲۰۰ پارامترهای PDR میانگین و میانگین تأخیر انتها-به-انتها بررسی شده‌اند. سرعت گره‌ها در این آزمایش بین ۱۰ تا ۵۰ متغیر می‌باشد. جدول ۳ خلاصه‌ای از پیکربندی پارامترهای مربوط به این سناریو را نشان می‌دهد.

جدول ۳. پارامترهای سناریوی اول.

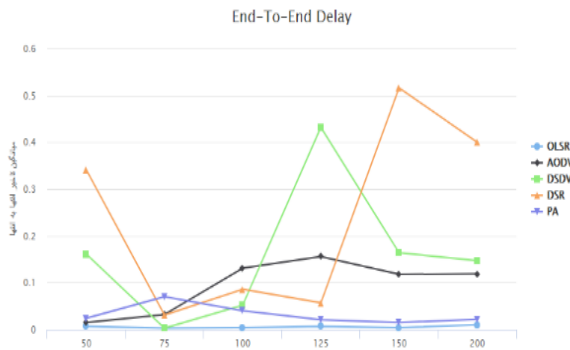
پارامتر	مقدار
زمان شبیه‌سازی	۲۰۰ ثانیه
تعداد گره‌ها	متغیر از ۵۰ تا ۲۰۰
سرعت گره‌ها	۱۰ متر بر ثانیه
ابعاد محیط	۵۰۰ * ۱۵۰۰ متر
سایز بسته‌ها	۵۱۲ بایت
لایه فیزیکی	۸۰۲.۱۱p
مدل تحرک	دستی به‌وسیله شبیه‌سازی در sumo، به این صورت که گره‌های در راستا جاده مورد نظر خود حرکت می‌کنند.
نوع ترافیک	CBR

همان‌طور که از شکل (۴) پیداست الگوریتم پیشنهادی  $PA^1$  از میانگین PDR بالاتری نسبت به بقیه برخوردار می‌باشد. در شکل (۵) نیز شاهد این هستیم که روش پیشنهادی از میانگین تأخیر کمتری برخوردار می‌باشد. دلیل اصلی برتری PA در اینجا دخیل کردن پارامتر جهت و نیز نزدیکترین همسایه در هنگام کشف مسیر است.

<sup>1</sup> Proposed Algorithm

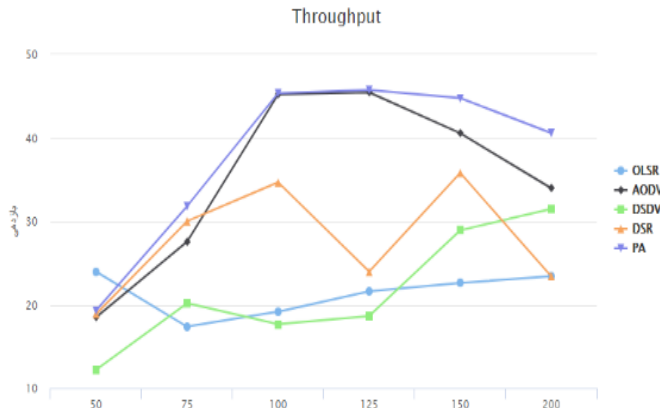


شکل ۴. میانگین PDR و تعداد گره‌ها (برحسب درصد).



شکل ۵. میانگین تأخیر انتها به انتها و تعداد گره‌ها (برحسب ثانیه).

در مورد تأخیر انتها به انتها PA رفتار بهتری از بقیه از خود نشان داده است البته به جز OLSR که دلیل آن استفاده این الگوریتم از مفهوم MPR است. PA به دلیل استفاده از جهت و نیز دخیل کردن کیفیت لینک در تصمیم‌گیری برای یافتن نزدیکترین گره باعث شده است که گره‌های بهتری پیدا شده و از گره‌های بی‌کیفیت استفاده نکند. در شکل ۶ نیز نمودار مقایسه‌ی توان عملیاتی نشان داده شده است.



شکل ۶. توان عملیاتی و تعداد گره‌ها (برحسب kbps).

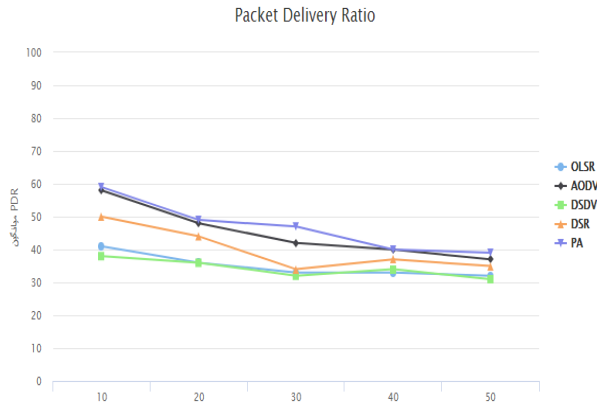
همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، روش پیشنهادی در اغلب موارد توان عملیاتی بهتری نسبت به سایر روش‌ها دارد.

#### مقایسه بر اساس سرعت گره‌ها

در تست بعدی تعداد گره‌ها ۱۰۰ فرض شده است و سرعت گره‌ها از ۱۰ تا ۵۰ تغییر یافته است. در اینجا نیز شاهد نتایج به‌دست آمده مشابه بالا می‌باشیم. جدول ۴ خلاصه‌ای از پارامترهای مورد استفاده در پیکربندی سناریو دوم را نشان می‌دهد.

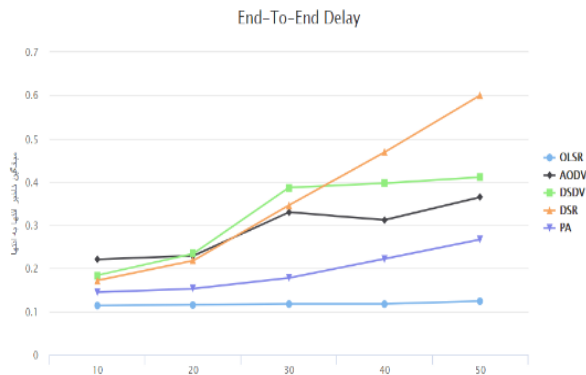
جدول ۴. پارامترهای سناریوی دوم.

پارامتر	مقدار
زمان شبیه‌سازی	۲۰۰ ثانیه
تعداد گره‌ها	۱۰۰
سرعت گره‌ها	متغیر از ۱۰ تا ۵۰
ابعاد محیط	۵۰۰ * ۱۵۰۰ متر
سایز بسته‌ها	۵۱۲ بایت
لایه فیزیکی	۸۰۲.۱۱p
مدل تحرک	دستی به‌وسیله شبیه‌سازی در SUMO، به این صورت که گره‌ها در راستای جاده مورد نظر خود حرکت می‌کنند.
نوع ترافیک	CBR



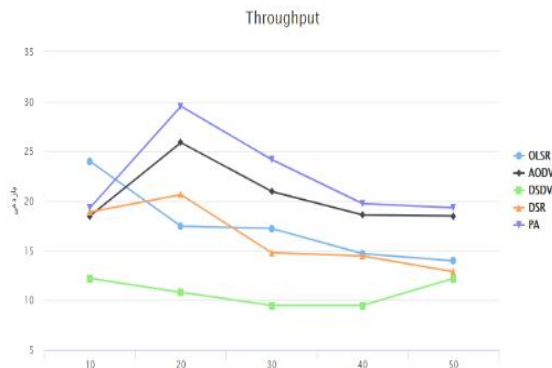
شکل ۷. میانگین PDR و سرعت گره‌ها (برحسب درصد).

همان‌طور که در شکل (۷) دیده می‌شود، با افزایش سرعت گره‌ها PDR به صورت مداوم کاهش یافته است. با دقت در این شکل ملاحظه می‌شود که PA با دخیل کردن سرعت و جهت در کنار یافتن نزدیکترین همسایه به مقصد، گره شایسته‌تری را پیدا کرده و بنابراین PDR بهتری را نسبت به بقیه روش‌ها نگه داشته است.



شکل ۸. میانگین تأخیر انتها به انتها و سرعت گره‌ها (برحسب ثانیه).

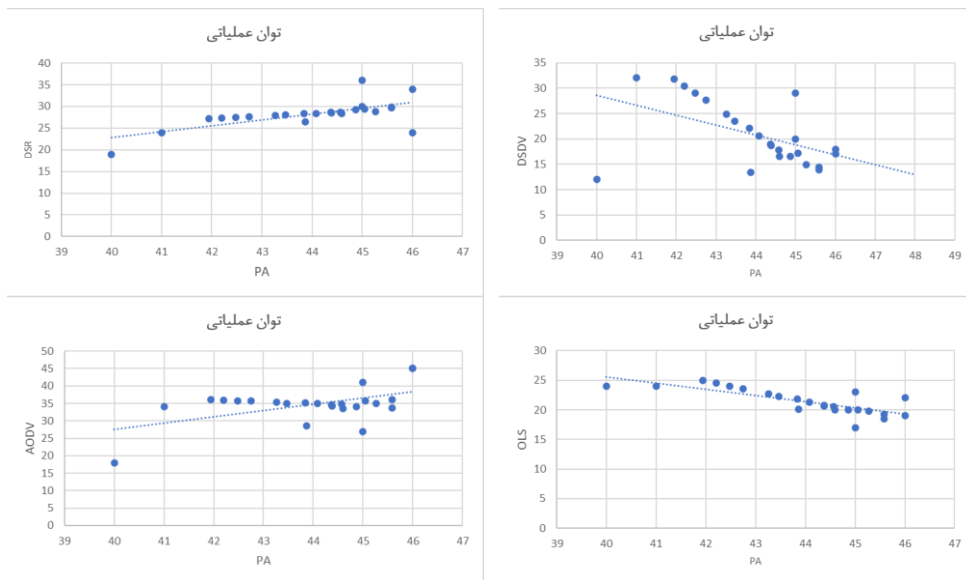
نوسانات زیاد در این نمودار حاصل از تغییرات پیوسته تراکم گره‌ها می‌باشد که با توجه به متحرک بودن گره‌های شبکه، مدام در محدوده یکدیگر قرار می‌گیرند و خارج می‌شوند. بر اساس شکل (۸) دوباره در اینجا نیز PA با دخیل کردن فاکتورهای جهت و بالاترین سرعت (در جهت مقصد) در کنار یافتن نزدیکترین گره به مقصد، باعث شده که گره‌های با کیفیت‌تری کشف شده و کار فروارد کردن بسته‌ها تسریع یابد. البته در اینجا نیز OLSR بهترین رفتار را نشان داده است که به دلیل استفاده از MPRها است. همچنین نمودار مقایسه‌ی توان عملیاتی بر اساس سرعت نیز در شکل ۹ نشان داده شده است که نشان از برتری روش پیشنهادی از این نظر دارد.



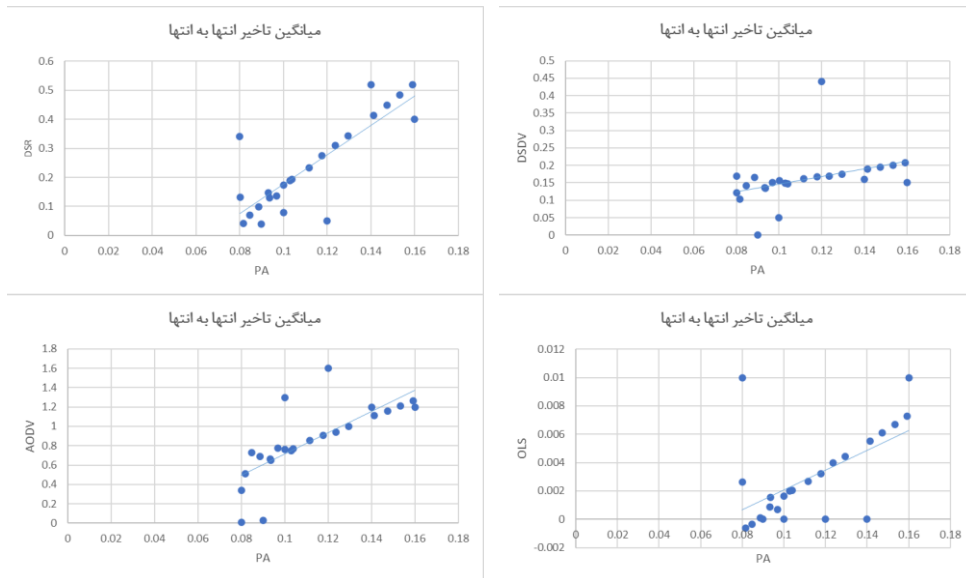
شکل ۹. توان عملیاتی و سرعت گره‌ها (بر حسب kbps).

با ترکیب نتایج به دست آمده از سناریوهای بالا، به این نتیجه می‌رسیم که روش پیشنهادی با چشم‌پوشی از میانگین تأخیر انتها به انتها، با داشتن میانگین PDR بهتر و توان عملیاتی بهتر گزینه مناسبی برای شبکه‌های خودرویی است. البته همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، میانگین تأخیر انتها به انتها روش پیشنهادی قابل قبول است هر چند که در این زمینه در رتبه نخست قرار نگرفته است.

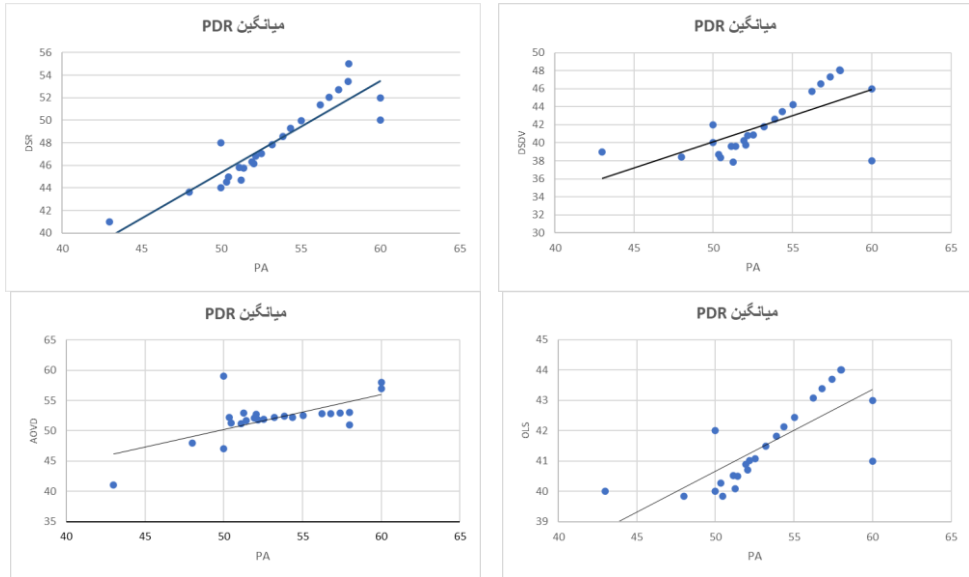
شکل ۱۰ به مقایسه نمودار برازش مقادیر «توان عملیاتی» پیش‌بینی شده در روش پیشنهادی (PA) نسبت به روش‌های پایه DSDV، DSR، AODV و OLS می‌پردازد. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده است مقادیر «توان عملیاتی» پیش‌بینی شده در روش پیشنهادی رابطه مستقیمی با اکثر روش‌های جدید دارد که نشان از عملکرد صحیح روش پیشنهادی دارد. در شکل ۱۱ به مقایسه نمودار برازش مقادیر «میانگین تأخیر پایان به انتها» پیش‌بینی شده در روش پیشنهادی (PA) نسبت به روش‌های پایه DSR، DSDV، AODV و OLS پرداختیم. که این نمودارها نیز نشان دهنده رابطه مستقیم روش پیشنهادی با سایر روش‌هایی هستند که کارایی آنها قبلاً به اثبات رسیده است. شکل (۱۲) نشان می‌دهد که روش پیشنهادی «نسبت تلفات بسته» را متناسب با روش‌های DSR، DSDV، AODV و OLS تخمین می‌زند. بنابراین شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ عملکرد صحیح روش پیشنهادی را به طور تجربی نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. نمودار برازش مقادیر «توان عملیاتی» پیش‌بینی شده در روش پیشنهادی (PA) نسبت به روش‌های پایه DSR، DSDV، AODV و OLS.

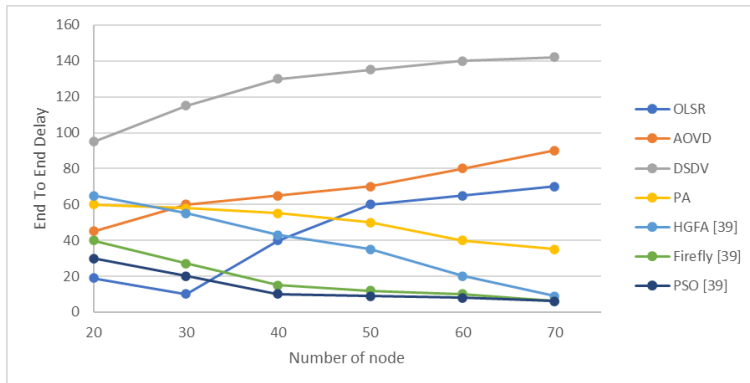


شکل ۱۱. نمودار برازش مقادیر «میانگین تأخیر پایان به انتها» پیش‌بینی شده در روش پیشنهادی (PA) نسبت به روش‌های پایه DSR، DSDV، AODV و OLS.

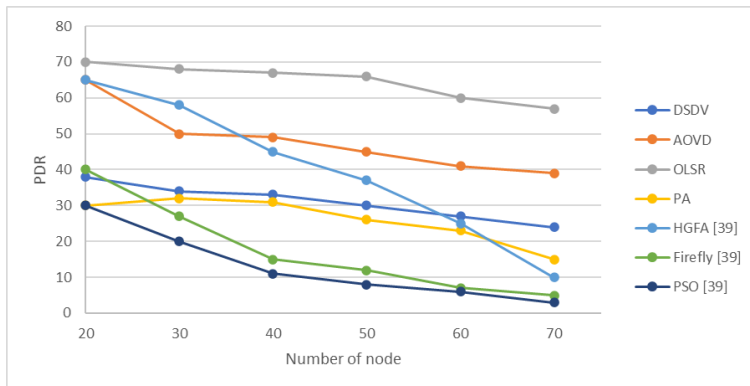


شکل ۱۲. نمودار برازش مقادیر «نسبت تلفات بسته» پیش‌بینی شده در روش پیشنهادی (PA) نسبت به روش‌های پایه DSR، DSDV، AODV و OLS.

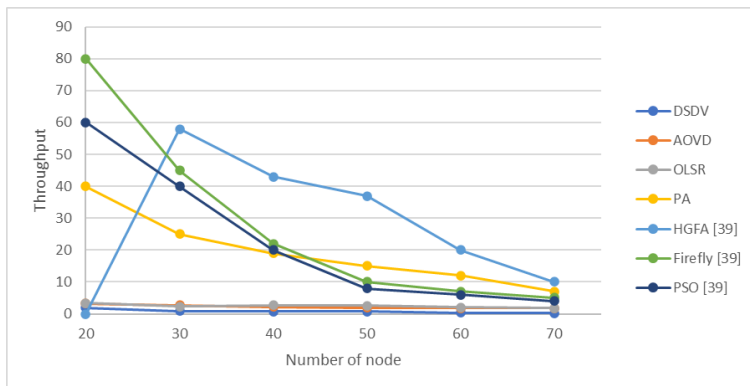
در شکل ۱۳ به مقایسه «میانگین تأخیر پایان به انتها» پیش‌بینی شده در روش‌های مختلف می‌پردازد. شکل ۱۴ نیز به مقایسه «نسبت تلفات بسته» پیش‌بینی شده در روش‌های مختلف اشاره می‌کند. همچنین شکل ۱۵ نمودار مقایسه «توان عملیاتی» پیش‌بینی شده در روش‌های مختلف را بررسی می‌کند. این سه شکل توانایی روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل‌های (۱۳-۱۵) دیده می‌شود روش پیشنهادی کارایی قابل قبول و قابل رقابتی در مقایسه با روش‌های فرا ابتکاری مانند (fireFly، PSO و HGFA) دارد. در حالی که روش‌های فرا ابتکاری زمان بسیار زیادی را صرف بهینه‌سازی و جستجو می‌کنند و حافظه بالایی مصرف می‌کنند.



شکل ۱۳. نمودار مقایسه «میانگین تأخیر پایان به انتها» پیش‌بینی شده در روش‌های مختلف.



شکل ۱۴. نمودار مقایسه «نسبت تلفات بسته» پیش‌بینی شده در روش‌های مختلف.



شکل ۱۵. نمودار مقایسه‌ی «توان عملیاتی» پیش‌بینی شده در روش‌های مختلف.

## نتیجه‌گیری

در این مقاله شاهد ارائه یک الگوریتم ترکیبی برای بهبود کارایی شبکه‌های خودرویی بودیم. ما این روش ترکیبی را با شبیه‌سازی و تحلیل دقیق روش‌های گذشته و استفاده از نکات مثبت این روش‌ها در قالب یک الگوریتم جدید، به دست آوردیم. روش پیشنهادی در محیط شبیه‌ساز تست شده و نتایج این روش در بخش قبلی ارائه شد که نشان از برتری این روش نسبت به روش‌های قبلی داشت. به طور دقیق‌تر از نظر نرخ تحویل بسته و توان عملیاتی نسبت به سایر روش‌ها برتری وجود دارد و در مورد پارامترهایی چون میانگین تأخیر انتها به انتها هم کارایی روش پیشنهادی قابل قبول است. این روش با به کارگیری خصوصیات مفید مسیریابی واکنشی و مبتنی بر مکان گره‌ها، یعنی برحسب تقاضا بودن و نیز دقیق‌تر کردن تصمیم‌گیری با استفاده از محاسبه فاصله از مقصد، به کارایی بهتری نسبت به الگوریتم‌های دیگر دست پیدا کرد. در کنار این مسائل، با دخیل کردن فاکتورهایی نظیر سرعت و جهت گره‌ها و نیز کیفیت لینک‌های بین گره‌ها، به مقیاس حتی دقیق‌تری برای تصمیم‌گیری دست پیدا کرده است. ما قصد داریم در آینده روشی را برای مسیریابی در شبکه‌های خودرویی با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری مبتنی بر مکان و با به کارگیری فنون جدیدتر ارائه دهیم [۲۸-۳۱]. توجه به بحث مصرف انرژی و تلاش برای کاهش آن از طریق ارائه الگوریتم‌های جدید از دیگر زمینه‌هایی است که امروزه به آن توجه بیشتری می‌شود [۳۲].

## References

- [1] Naeem, A., Rizwan, M., Alsubai, S., Almadhor, A., Akhtaruzzaman, M., Islam, S., & Rahman, H. (2023). Enhanced clustering based routing protocol in vehicular ad-hoc networks. *Institution of Engineering and Technology Electrical Systems in Transportation*, 13(1), e12069. <https://doi.org/10.1049/els2.12069>
- [2] Nahar, A., & Das, D. (2023). MetaLearn: Optimizing routing heuristics with a hybrid meta-learning approach in vehicular ad-hoc networks. *Ad Hoc Networks*, 138(3), 102996. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2022.102996>
- [3] Iza-Paredes, C., Mezher, A. M., & Igartua, M. A. (2016, November 13 - 17). *Adaptive Video-streaming Dissemination in Realistic Highway Vehicular Ad-Hoc Networks*. Proceedings of the 13th Association for Computing Machinery Symposium on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, & Ubiquitous Networks, Malta, Malta. <https://doi.org/10.1145/2989293.2989301>
- [4] Jadoon, R. N., Afzal, M., & Shafi, J. (2013). Reliable Routing Scheme for VANETs in City Environment. *International Journal of Computer and Communication Engineering*, 2(1), 20-24. <https://doi.org/10.7763/IJCCE.2013.V2.127>
- [5] Kumar, S., & Kumar, J. (2012). Comparative analysis of proactive and reactive routing protocols in mobile ad-hoc networks (MANET). *Journal of Information and Operations Management*, 3(1), 92-95. <https://bioinfopublication.org/pages/article.php?id=BIA0000575>
- [6] Rajesh Kumar, M., & Routray, S. K. (2016, July 21-23). *Ant Colony based Dynamic source routing for VANET*. 2016 2nd International Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology, Bangalore, India. <https://doi.org/10.1109/ICATCCT.2016.7912008>
- [7] Al-Sultan, S., Al-Doori, M. M., Al-Bayatti, A. H., & Zedan, H. (2014). A comprehensive survey on vehicular Ad Hoc network. *Journal of Network and Computer Applications*, 37(1), 380-392. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2013.02.036>
- [8] Balasubramani, Karthikeyan, L., & Deepalakshmi, V. (2015). Comparative Study on Non-delay Tolerant Routing Protocols in Vehicular Networks. *Procedia Computer Science*, 50, 252-257. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.052>
- [9] Huang, D., & Yan, Y. (2016). A contention-based routing protocol for VANET. *Telecom munication Computing Electronics and Control*, 14(1), 319-325. <https://doi.org/10.12928/telkomnika.v14i1.2743>
- [10] Husnain, G., & Anwar, S. (2022). An Intelligent Probabilistic Whale Optimization Algorithm (i-WOA) for Clustering in Vehicular Ad Hoc Networks. *International Journal of Wireless Information Networks*, 29(2), 143-156. <https://doi.org/10.1007/s10776-022-00555-w>
- [11] Husnain, G., Anwar, S., Sikander, G., Ali, A., & Lim, S. (2023). A Bio-Inspired Cluster Optimization Schema for Efficient Routing in Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs). *Energies*, 16(3), 1456. <https://doi.org/10.3390/en16031456>
- [12] Shukla, R. S., Khan, I. A., & Tyagi, N. (2012). Performance of modified edge based greedy routing algorithm in VANET using real city scenario. *Advances in Mechanical Engineering and its Applications* 2(3), 168-173. [https://www.academia.edu/30080086/Performance\\_of\\_Modified\\_Edge\\_Based\\_Greedy\\_Routing\\_Algorithm\\_in\\_VANET\\_Using\\_Real\\_City\\_Scenario](https://www.academia.edu/30080086/Performance_of_Modified_Edge_Based_Greedy_Routing_Algorithm_in_VANET_Using_Real_City_Scenario)
- [13] Ajjaj, S., El Houssaini, S., Hain, M., & El Houssaini, M-A. (2022). Performance Assessment and Modeling of Routing Protocol in Vehicular Ad Hoc Networks Using Statistical Design of Experiments Methodology: A Comprehensive Study. *Applied System Innovation*, 5(1), 19. <https://doi.org/10.3390/asi5010019>

- [14] Habelalmateen, M. I., Ahmed, A. J., Abbas, A. H., & Rashid, S. A. (2022). TACRP: Traffic-Aware Clustering-Based Routing Protocol for Vehicular Ad-Hoc Networks. *Designs*, 6(5), 89. <https://doi.org/10.3390/designs6050089>
- [15] Al-Rabayah, M., & Malaney, R. (2012). A New Scalable Hybrid Routing Protocol for VANETs. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Vehicular Technology*, 61(6), 2625-2635. <https://doi.org/10.1109/TVT.2012.2198837>
- [16] Broumandnia, A., Sharifi, E., & Ghahari Bidgoli, M. (2014). Reducing Energy Consumption in Mobile ad hoc Networks Using Energy-aware Routing Algorithm Based on Multiple Routes. *Advances in Computer Science: an International Journal*, 3(2), 52-57. <https://www.acsij.org/index.php/acsij/article/view/213/209>
- [17] Kaur, S., & Kaur, K. (2016). An new improved GPSR (I-GPSR) routing protocol for VANET. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 2(7), 1190-1196. [https://www.imperialjournals.com/index\\_php/IJIR/article/view/1282/](https://www.imperialjournals.com/index_php/IJIR/article/view/1282/)
- [18] Khadim, S. W., & Hassan, H. A. (2022). Review vehicular ad hoc networks security challenges and future technology. *Wasit Journal of Computer and Mathematics Science*, 1(3), 1-14. <https://doi.org/10.31185/wjcm.50>
- [19] Vijitha Ananthi, J., & Subha Hency Jose, P. (2022). A Review on Various Routing Protocol Designing Features for Flying Ad Hoc Networks. In S. Shakya, R. Bestak, R. Palanisamy, & K. A. Kamel (Eds.), *Mobile Computing and Sustainable Informatics* (pp. 315-325). Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-1866-6\\_23](https://doi.org/10.1007/978-981-16-1866-6_23)
- [20] Pandey, P., & Singh, R. (2022). Efficient Ad Hoc On Demand Distance Vector Routing Protocol Based on Route Stability in MANETs. *International Journal of Wireless Information Networks*, 29(3), 393-404. <https://doi.org/10.1007/s10776-022-00570-x>
- [21] Elaryh Makki Dafalla, M., Mokhtar, R. A., Saeed, R. A., Alhumyani, H., Abdel-Khalek, S., & Khayyat, M. (2022). An optimized link state routing protocol for real-time application over Vehicular Ad-hoc Network. *Alexandria Engineering Journal*, 61(6), 4541-4556. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.10.013>
- [22] McHergui, A., Moulahi, T., & Zeadally, S. (2022). Survey on Artificial Intelligence (AI) techniques for Vehicular Ad-hoc Networks (VANETs). *Vehicular Communications*, 34(3), 100403. <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2021.100403>
- [23] Gupta, M., & Kaushik, S. (2012). Performance comparison study of aodv, olsr and tora routing protocols for manets. *International Journal Of Computational Engineering Research*, 2(3), 704-711. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=5b7451c96066733cf32967db80de97e1845b0a7e>
- [24] Jigish, V., Raju, C., & Balaswamy, C. (2015). The comparison between OLSR and AODV routing protocols for Vehicular Adhoc Networks. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 4(3), 467-470. <https://doi.org/10.17148/IJARCCCE.2015.43112>
- [25] Vasiliev, D. S., Meitis, D. S., & Abilov, A. (2014). Simulation-Based Comparison of AODV, OLSR and HWMP Protocols for Flying Ad Hoc Networks. In S. Balandin, S. Andreev, & Y. Koucheryavy (Eds.), *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems*. Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-10353-2\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-319-10353-2_21)
- [26] Sharma, N., & Thakur, J. (2013). Performance analysis of AODV &GPSR routing protocol in VANET. *International Journal of Computer Science & Engineering Technology*, 4(2), 104-112. <http://www.ijcset.com/abstract.php?file=13-04-02-045>

- [27] Kurundkar, S., & Maidamwar, A. (2013). An improved Aodv routing protocol for mobile ad-hoc networks. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 2(7), 270-278. <https://www.semanticscholar.org/paper/AN-IMPROVED-AODV-ROUTING-PROTOCOL-FOR-MOBILE-AD-HO-C-Kurundkar-Maidamwar/66ccbdc80079508b84d4eb0f9fbf1e6fa47727d2>
- [28] Laanaoui, M., & Raghay, S. (2022). Enhancing OLSR Protocol by an Advanced Greedy Forwarding Mechanism for VANET in Smart Cities. *Smart Cities*, 5(2), 650-667. <https://doi.org/10.3390/smartcities5020034>
- [29] Pourkarimi, R. A., Ghaffarpour, R., & Ahmadi, A. K. (2020). Delay forecast in the control system based on internet using the meta-heuristic methods and Comparing methods with each others. *Information technology innovations and applied communication*, 1(1), 45-52. [https://ait.ihu.ac.ir/article\\_204797.html?lang=en](https://ait.ihu.ac.ir/article_204797.html?lang=en)
- [30] Santhosh Gnanasekar, T., & Samiappan, D. (2020). Optimal routing in VANET using improved meta-heuristic approach: a variant of Jaya. *Institution of Engineering and Technology Communications*, 14(16), 2740-2748. <https://doi.org/10.1049/iet-com.2018.6214>
- [31] Srivastava, A., Prakash, A., & Tripathi, R. (2020). Location based routing protocols in VANET: Issues and existing solutions. *Vehicular Communications*, 23, 100231. <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2020.100231>
- [32] Elhoseny, M., & Shankar, K. (2020). Energy Efficient Optimal Routing for Communication in VANETs via Clustering Model. In M. Elhoseny & A. E. Hassanien (Eds.), *Emerging Technologies for Connected Internet of Vehicles and Intelligent Transportation System Networks: Emerging Technologies for Connected and Smart Vehicles* (pp. 1-14). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22773-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22773-9_1)