

مسیریابی هوشمند ماشین حمل پول در شبکه

ترافیک شهری شیراز

سمیرا اسدزاده^۱، الهام پروین نیا^{۲*}

دانشجوی دکترای گروه مهندسی کامپیوتر، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران^۱

دانشیار گروه مهندسی کامپیوتر، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران^{۲*}

چکیده

با رشد و توسعه شهری، نیاز به سامانه‌های حمل‌ونقل امن و بهینه در حوزه ترابری شهری بیش از پیش احساس می‌شود. یکی از چالش‌های مهم در این زمینه، مسیریابی ماشین‌های حمل پول بانک‌ها به دلیل ماهیت حساس و خطرناک آن، نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و هوشمند است. چالش‌های اصلی این حوزه شامل امنیت، زمان‌بندی، ترافیک و انتخاب مسیر بهینه است. این مقاله با هدف ارائه روشی نوآورانه برای مسیریابی هوشمند ماشین‌های حمل پول، مسئله مسیریابی شهری را به مسئله فروشنده دوره‌گرد (TSP) نگاشت می‌کند. در این روش، از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها (ACO) استفاده شده است و محدودیت‌های واقعی مانند ترافیک سنگین، امنیت پایین و خطرات جاده‌ای به عنوان وزن‌های اضافی در نظر گرفته می‌شوند. داده‌های مورد استفاده شامل نقشه ترافیک شهری شیراز و موقعیت‌های بانک‌های مختلف است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی قادر است مسیرهایی را انتخاب کند که از مناطق پرترافیک، جرم‌خیز و خطرناک دوری کرده و در عین حال، زمان سفر را بهینه‌سازی کند. این روش نه تنها امنیت و کارایی را افزایش می‌دهد؛ بلکه به کاهش هزینه‌های عملیاتی نیز کمک می‌کند. با توجه به ارزیابی‌های مقایسه‌ای انجام‌شده، الگوریتم پیشنهادی با ترکیب عواملی مانند داده‌های ترافیکی، نرخ امنیت و شرایط رانندگی و جاده، راه‌حلی واقعی‌تر و جامع‌تر نسبت به مدل‌های دیگر ارائه کرده است. این رویکرد در ایجاد تعادل بین جنبه‌های چندوجهی مسیریابی مانند ایمنی، وقت‌شناسی و هزینه کارآمد بوده است. توانایی این الگوریتم برای اجتناب از مسیرهایی با ترافیک سنگین، نرخ پایین امنیت و شرایط نامناسب جاده، ایمنی و کاهش زمان سفر در ماشین‌های حمل پول را به طور چشم‌گیری افزایش داده است؛ همچنین، روش پیشنهادی با نگاشت مسئله مسیریابی شهری به مسئله فروشنده دوره‌گرد و استفاده از الگوریتم ACO توانسته است، مسیرهایی بهینه و ایمن ارائه دهد. این روش در مقایسه با مقالات دیگر، از نظر دقت، زمان اجرا، مصرف انرژی و امنیت عملکرد بهتری دارد. استفاده از داده‌های ترافیکی واقعی و توانایی تطبیق با تغییرات پویا، اعتبار و کاربردی بودن روش پیشنهادی را افزایش داده است. در کل، این مقاله با ارائه یک روش نوآورانه برای مسیریابی هوشمند خودروهای حمل پول، گامی مهم در جهت بهبود کارایی و امنیت عملیات بانکی برداشته است.

واژگان کلیدی: مسیریابی هوشمند، الگوریتم کلونی مورچه‌ها، مسئله فروشنده دوره‌گرد، بهینه‌سازی مسیر، امنیت ترافیک.

Intelligent routing of the money-carrying vehicle in the urban traffic network of Shiraz

Samira Asadzadeh¹, Elham Parvinnia^{2*}

PhD Student, Department of Computer Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran¹

Associate Professor, Department of Computer Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran^{2*}

Abstract

With the rapid growth and development of urban areas, the demand for secure and efficient transportation systems in urban logistics has become increasingly critical. One of the most pressing

* Corresponding author

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات

challenges in this domain is the routing of bank cash-in-transit (CIT) vehicles, which, due to their sensitive and high-risk nature, require precise and intelligent planning. The primary challenges for CIT vehicles include ensuring security, optimizing timing, managing traffic congestion, and selecting the most efficient routes. This paper proposes an innovative method for the intelligent routing of CIT vehicles by mapping the urban routing problem to the Traveling Salesman Problem (TSP). The proposed approach leverages the Ant Colony Optimization (ACO) algorithm, enhanced with real-world constraints such as heavy traffic, low-security areas, and road hazards, which are incorporated as additional weights in the optimization process. The data used in this study includes the urban traffic map of Shiraz, Iran, and the locations of various banks.

The results demonstrate that the proposed method effectively selects routes that avoid high-traffic zones, crime-prone areas, and hazardous roads while optimizing travel time. This approach not only enhances security and operational efficiency but also contributes to reducing operational costs. The core innovation of this research lies in its ability to map the urban routing problem to the TSP, a well-known combinatorial optimization problem, and to utilize the ACO algorithm, which is inspired by the foraging behavior of ants. In nature, ants leave pheromone trails to communicate and find the shortest path between their nest and food sources. Similarly, the ACO algorithm employs artificial ants to explore possible routes, leaving virtual pheromones to guide subsequent ants toward optimal paths. In this study, the ACO algorithm is further enhanced by incorporating heuristic information such as traffic volume, security rates, and unsafe driving conditions, which are treated as critical factors in the routing process.

The implementation of the proposed method utilizes real-world data from the urban traffic map of Shiraz, including the locations of eight major banks and the routes connecting them. The distances between these locations are calculated using the Haversine formula, which accounts for the Earth's curvature to provide accurate geographical distances. The algorithm is tested with various parameters, including different numbers of artificial ants (ranging from 10 to 200), evaporation rates (0.1 to 0.5), and exploration-exploitation trade-offs (alpha and beta values). The results show that the proposed method can effectively identify routes that minimize travel time while avoiding high-traffic areas, crime-prone zones, and hazardous roads.

One of the key contributions of this research is the integration of multiple heuristic factors into the ACO algorithm. Traditional routing algorithms often focus solely on minimizing distance or travel time, neglecting critical real-world constraints. In contrast, the proposed method assigns weights to factors such as traffic volume, security levels, and unsafe driving conditions, allowing the algorithm to prioritize safer and more efficient routes. For example, routes passing through areas with high crime rates or heavy traffic are penalized, reducing their likelihood of being selected. This approach ensures that the final route is not only the shortest but also the safest and most reliable.

Comparative evaluations indicate that the proposed algorithm offers a more realistic and comprehensive solution compared to other models. By balancing multifaceted aspects of routing such as safety, timeliness, and cost, the method proves to be highly effective. The algorithm's ability to avoid routes with heavy traffic, low security, and poor road conditions significantly enhances the safety and time efficiency of CIT vehicles. Furthermore, the proposed method represents a significant step forward in improving the efficiency and security of banking operations by providing an innovative approach to intelligent routing for CIT vehicles. By mapping the urban routing problem to the TSP and utilizing the ACO algorithm with real-world constraints, the method delivers optimal and secure routes.

In comparison to other studies, the proposed method demonstrates superior performance in terms of accuracy, execution time, energy consumption, and security. The use of real-time traffic data and the algorithm's ability to adapt to dynamic changes further enhance the practicality and reliability of the proposed solution. This adaptability makes the method particularly suitable for urban environments with fluctuating traffic patterns and evolving security challenges.

In conclusion, this paper presents a novel and effective approach to intelligent routing for CIT vehicles in urban environments. By combining the strengths of the ACO algorithm with real-world constraints, the proposed method offers a comprehensive solution that balances efficiency, security, and reliability. Future work could explore the integration of machine learning techniques to further enhance the algorithm's predictive capabilities, enabling it to anticipate and respond to emerging traffic and security challenges proactively. This research marks a significant advancement in the field of urban logistics, providing a robust framework for the safe and efficient routing of high-risk transportation systems.

Keywords: Intelligent routing, Ant Colony Optimization, Traveling Salesman Problem, route optimization, traffic security.

ماهیت حساس و پرخطر آن، نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و هوشمند است. این خودروها نه تنها باید در کوتاه‌ترین زمان ممکن به مقصد برسند؛ بلکه باید از مناطق پرترافیک، جرم‌خیز و خطرناک نیز دوری کنند تا امنیت و کارایی عملیات‌ها تضمین شود. استفاده از هوش مصنوعی، بهبود الگوریتم‌های مسیریابی و بومی‌سازی آن در بخش شهری با توجه به وسعت

۱-مقدمه

با گسترش سریع شهرنشینی و افزایش پیچیدگی شبکه‌های حمل‌ونقل شهری، نیاز به سامانه‌های هوشمند و بهینه‌سازی‌شده برای مدیریت ترافیک و ترابری شهری بیش از پیش احساس می‌شود. یکی از چالش‌های مهم در این زمینه، مسیریابی خودروهای حمل پول بانک‌ها است که به‌دلیل

فصل ۱



این الگوریتم به‌طور گسترده‌ای در حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی مانند مسئله فروشنده دوره‌گرد (TSP) استفاده شده‌است؛ با این حال، مسیریابی شهری تنها به یافتن کوتاه‌ترین مسیر محدود نمی‌شود؛ بلکه باید عوامل واقعی مانند ترافیک سنگین، امنیت پایین و خطرات جاده‌ای نیز در نظر گرفته شوند. این عوامل می‌توانند تأثیر قابل توجهی بر زمان سفر، ایمنی و هزینه‌های عملیاتی داشته باشند؛ بنابراین، نیاز به روش‌هایی است که بتوانند این محدودیت‌ها را هم‌زمان در نظر بگیرند و مسیرهایی بهینه و ایمن‌تر ارائه دهند.

با توجه به پژوهش‌های صورت گرفته در مسیریابی هوشمند در ترافیک شهری علی‌رغم مزایا و کاربردهایی که دارند چالش‌هایی از قبیل در نظر نگرفتن نقاط بحرانی و امنیت مسیر و... نیز وجود دارد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد روش‌های سنتی مسیریابی بنابر عادت تنها بر روی یک یا دو عامل (مانند زمان سفر یا فاصله) تمرکز می‌کنند و عوامل دیگری مانند امنیت و خطرات جاده‌ای را نادیده می‌گیرند؛ این محدودیت باعث می‌شود که روش‌های موجود در محیط‌های واقعی عملکرد ضعیف‌تری داشته باشند و تمرکز تنها روی پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر است؛ در صورتی که یکی از مهم‌ترین اهداف از پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر، بهینگی در زمان و حفظ امنیت است.

در این مقاله، هدف اولیه ارائه روشی نوآورانه برای مسیریابی هوشمند خودروهای حمل پول است که در آن مسئله مسیریابی شهری به مسئله فروشنده دوره‌گرد (TSP) نگاشت می‌شود. در این روش، از الگوریتم ACO استفاده شده و محدودیت‌های واقعی مانند ترافیک سنگین، امنیت پایین و خطرات جاده‌ای به‌عنوان وزن‌های اضافی در نظر گرفته می‌شوند. از اهداف دیگر این پژوهش کاهش زمان سفر، افزایش امنیت عملیات‌های حمل پول و بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش هزینه‌های عملیاتی و کاهش خطرات است.

داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های جغرافیایی مربوط به نقشه ترافیکی شهر شیراز واقع در استان فارس است. این داده‌ها شامل مختصات جغرافیایی بانک‌های مختلف و مسیرهای بین آن‌هاست. نقاط بحرانی مانند مناطق پرتراфик، مناطق با امنیت پایین و مسیرهای خطرناک شناسایی و به‌عنوان وزن‌های اضافی در نظر گرفته شده‌اند. مناطق پرتراфик و شرایط جاده‌ای را می‌توان با نگاهی به ترافیک شیراز بر روی نقشه در تارنمای ترافیک برخط به‌صورت لحظه‌ای بررسی و تعیین کرد و با توجه به نبود دسترسی به داده‌های پلیس مربوط به امنیت مناطق شهری، برای شناسایی مناطق ناامن از اطلاعات عمومی و

و گستردگی شهرها و افزایش ترافیک شهری می‌تواند در ساماندهی مدیریت شهری کارآمد باشد [۱].

مسیریابی هوشمند یکی از ابزارهای سریع و آسان است که می‌تواند در شهرهای بزرگ و شلوغ و حتی مکان‌هایی که شناخت دقیقی از آن نداریم بسیار مفید و کارگشا باشد. با کمک مسیریابی هوشمند می‌توان در شهرها سریع‌ترین و مؤثرترین مسیرها را شناسایی کرد. این فناوری می‌تواند به افزایش بهره‌وری ترابری کمک کند [۲].

در قلب هر سامانه مسیریابی هوشمند یک الگوریتم مسیریابی وجود دارد که با توجه به استراتژی تعیین شده و مشخص کردن اولویت‌ها مسیریابی را از مبدأ به مقاصد مختلف انجام می‌دهد [۳]. یک مسیر خوب به‌طور معمول مسیری است که کمترین هزینه را به همراه داشته باشد [۴].

در سال‌های اخیر، استفاده از الگوریتم‌های هوشمند و روش‌های بهینه‌سازی برای حل مسائل پیچیده‌ای مانند مسیریابی شهری، توجه بسیاری از پژوهش‌گران را به خود جلب کرده‌است که در اینجا برای درک بهتر مقاله، مفهوم الگوریتم کلونی مورچگان را بررسی می‌کنیم. بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها^۱ به اختصار ACO که در سال ۱۹۹۲ توسط مارکو دوریگو^۲ مطرح شد، یکی از بارزترین نمونه‌ها برای روش‌های هوش جمعی^۳ است. این الگوریتم از روی رفتار جمعی مورچه‌ها الهام گرفته شده‌است. مورچه‌ها با همکاری یکدیگر کوتاه‌ترین مسیر را میان لانه و منابع غذایی پیدا می‌کنند تا بتوانند در کمترین زمان، مواد غذایی را به لانه منتقل کنند؛ هیچ کدام از مورچه‌ها به تنهایی قادر به انجام چنین کاری نیستند، اما با همکاری و پیروی از چند اصل ساده بهترین راه را پیدا می‌کنند. الگوریتم مورچه‌ها، یک مثال بارز از هوش جمعی است که در آن عواملی که قابلیت چندان بالایی ندارند در کنار هم و با همکاری یکدیگر می‌توانند نتایج بسیار خوبی به‌دست بیاورند. مورچه‌ها هنگام حرکت در مسیر ردی از ماده شیمیایی فرومون^۴ از خود به جای می‌گذارند؛ البته این ماده به‌سرعت تبخیر می‌شود، اما در کوتاه‌مدت به‌عنوان رد مورچه بر سطح زمین باقی می‌ماند. یک رفتار پایه‌ای ساده در مورچه‌ها وجود دارد؛ آن‌ها هنگام انتخاب بین دو مسیر به‌صورت احتمالاتی^۵ مسیری را انتخاب می‌کنند که فرومون بیشتری داشته باشد یا به‌عبارت دیگر مورچه‌های بیشتری پیش‌تر از آن عبور کرده باشند. قابل توجه است که همین یک تمهید ساده منجر به پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر خواهد شد [۵]؛ از این‌رو در پژوهش‌های بسیاری، از

¹ Ant Colony Optimization

² Marco Dorigo

³ SWARM Intelligence

⁴ Pheromone

⁵ Statistical

مشاهدات خود استفاده کردیم؛ در این راستا، وجود بیشترین تصادفات، اتباع خارجی و تجمع معتادین در برخی مناطق و نظرات عمومی افراد محلی را به عنوان نشانه‌هایی از مشکلات اجتماعی و رانندگی‌های خطرناک در نظر گرفتیم. گفتنی است که این ارزیابی‌ها به صورت شهودی انجام شده و ممکن است، دقت کمتری نسبت به داده‌های رسمی داشته باشد.

نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی قادر است مسیرهایی را انتخاب کند که از مناطق پرتراфик، جرم‌خیز و خطرناک دوری کرده و در عین حال، زمان سفر را بهینه‌سازی کند. این روش نه تنها امنیت و کارایی را افزایش می‌دهد؛ بلکه به کاهش هزینه‌های عملیاتی نیز کمک می‌کند.

در کل، هدف اصلی این مقاله، ارائه یک راه‌حل جامع و کاربردی برای مسیریابی خودروهای حمل پول در محیط‌های شهری است که بتواند هم‌زمان امنیت، کارایی و بهینه‌سازی مصرف انرژی و زمان سفر را تضمین کند. در ادامه، ساختار مقاله به صورت زیر ارائه می‌شود:

در بخش دوم پیشینه پژوهش، مروری بر پژوهش‌های پیشین در حوزه مسیریابی هوشمند و کاربرد الگوریتم‌های بهینه‌سازی در حل مسائل شهری انجام می‌شود. در بخش سوم روش پژوهش، روش پیشنهادی شامل نگاشت مسئله مسیریابی شهری به TSP و استفاده از الگوریتم ACO با در نظر گرفتن محدودیت‌های واقعی، دقیق شرح داده می‌شود. در بخش چهارم با عنوان تحلیل و ارزیابی، نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش پیشنهادی بر روی داده‌های واقعی شهر شیراز ارائه و تحلیل می‌شود. در بخش پنجم نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه می‌شود. در این بخش، یافته‌های کلیدی مقاله جمع‌بندی و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده ارائه می‌شود.

۲- پیشینه پژوهش

در حوزه مسیریابی ترافیک، سامانه‌های کنترل ترافیک، بیشتر به صورت متمرکز عمل می‌کنند. در این سامانه‌ها، تمام داده‌های جمع‌آوری شده از ترافیک شهری تحلیل می‌شوند تا تصمیم‌گیری‌های مربوط به مسیریابی ماشین‌ها صورت گیرد؛ با این حال، این سامانه‌ها با مشکلاتی مواجه‌اند؛ نخست این که، پیچیدگی محاسباتی آن‌ها بالاست و انجام تصمیم‌گیری به صورت زمان واقعی دشوار است. دوم این که، این سامانه‌ها بر اساس اطلاعات مرکزی عمل می‌کنند که در صورت بروز خرابی در سامانه، تمام عملکرد آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد. برای حل این مشکلات، در مقاله [۶] یک سامانه مسیریابی ترافیکی غیرمتمرکز پیشنهاد شده است. این سامانه بر اساس

الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان با استفاده از یک مدل فرومونی جدید و یک روش مذاکره خودکار در محیط خودروهای متصل^۱ عمل می‌کند. در این سامانه، خودروهای متصل از مدل فرومونی معکوس استفاده می‌کنند که بین خودروها نیروی دافعه ایجاد می‌کند و بازخورد منفی به جاده‌های شلوغ می‌دهد؛ آن‌ها همچنین یک فرایند مذاکره مبتنی بر یادگیری جمعی را برای توزیع جریان‌های ترافیکی در سراسر شبکه‌های جاده‌ای انجام می‌دهند و ازدحام ترافیک را کاهش می‌دهند. ارزیابی عملکرد سامانه پیشنهادی، از طریق شبیه‌سازی‌های گسترده بر اساس شبیه‌سازی تحرک شهری، انجام شده است. نتایج نشان می‌دهند که سامانه پیشنهادی قادر است سفر و مصرف سوخت را نسبت به سامانه‌های موجود کاهش قابل توجهی دهد.

در مقاله [۷]، یک سامانه مدیریت ترافیک غیرمتمرکز برای خودروهای متصل، با ادغام مسیریابی ترافیک پویا و کنترل ترافیک، بدون چراغ‌های راهنمایی را ارائه می‌دهد. در این پژوهش، الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان برای حل مسئله مسیریابی ترافیک پویا با جریان‌های چندمنبع، چندمقصد استفاده می‌شود. هر خودرو متصل یا CV، به عنوان یک مورچه مدل شده است و فرومون را در مسیر خود جا می‌گذارد. حسگرهای جاده اطلاعات فرومونی را جمع‌آوری کرده و به CV ورودی منتقل می‌کنند تا مسیریابی را انجام دهد. استفاده از مفهوم CV رنگی، CV با همان مقصد، فرومون مربوطه به نام فرومون رنگی را ذخیره می‌کند و تنها این CV می‌تواند با آن فرومون تعامل داشته باشد؛ بنابراین، می‌توان جریان‌های ترافیک چندمقصدی، چندمنبع را در فرایند مسیریابی تشخیص داد. برای پیاده‌سازی کنترل ترافیک تقاطع‌های بدون چراغ‌های راهنمایی، پروتکل مذاکره تقاطع غیرمتمرکزی پیشنهاد شده است که به CV اجازه می‌دهد تا با تبادل اطلاعات مسیر خود، از تقاطع‌ها عبور کنند و زمان مورد نیاز CV برای عبور از تقاطع‌ها را کاهش قابل توجهی دهد؛ در نهایت، شبیه‌سازی‌های گسترده انجام شده است که نشان می‌دهد سامانه پیشنهادی در مقایسه با سامانه‌های مدیریت ترافیک سنتی، بهبود قابل توجهی در میانگین زمان سفر و تعداد خودروهای در حال حرکت دارد.

در مقاله [۸]، به بررسی ارتباط بین دستگاه‌ها با اینترنت اشیا (IoT) می‌پردازد شبکه‌های حسگر بی‌سیم یکی از اجزای مهم اینترنت اشیا هستند که از گره‌های حسگر بی‌سیم زیادی تشکیل شده‌اند که در فضا توزیع شده‌اند. این گره‌ها می‌توانند اطلاعات محیطی را درک کرده و از طریق ارتباط بی‌سیم به گره‌های دیگر منتقل کنند. در روش‌های بهینه‌سازی مسیریابی شبکه حسگر بی‌سیم، می‌توان از الگوریتم کلونی مورچه‌ها

¹ Connected Vehicles

می‌شود که اختلاف بین خطوط تنظیم‌شده و خطوط اصلی را سنجیده و محاسبه می‌کند. روش MACSA روی مسائل بنچمارک و یک مسئله واقعی اعمال و با روش‌های دیگر مقایسه شده‌است. نتایج نشان می‌دهد که MACSA می‌تواند شبکه‌ای را ایجاد کند که جریان مسافران مستقیم بیشتر و تکرار خطوط کمتری داشته باشد و تغییرات کمتری نسبت به شبکه اصلی داشته باشد. در کل، روش MACSA با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه و بهینه‌سازی چند هدفه، بهبود قابل توجهی در شبکه‌های حمل‌ونقل عمومی اتوبوسی ایجاد می‌کند.

مقاله [۱۱]، در مورد تشخیص چهره در شبکه‌های ad hoc وسایل نقلیه (VANETs) است. VANETs نیازمند ارتباط امن و قابل اعتماد و همچنین نیازمند انتقال داده بی‌درز در مورد تصادفات و ترافیک هستند. در این مقاله، یک روش به نام Enhanced Location-Aided Ant colony Routing (ELAACR) برای VANETs پیشنهاد می‌شود؛ این روش شامل دو مرحله است: مرحله نخست مدیریت کلید مبتنی بر مکان (LAKM) و مرحله دوم مسیریابی مورچه (ACR). با استفاده از این روش، ارتباط امن و قابل اعتماد فراهم می‌شود و مسیریابی مورچه برای یافتن مسیر کوتاه و امن برای انتقال داده بی‌درز استفاده می‌شود. شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که ELAACR پیشنهاد عملکرد بهتری نسبت به روش‌های موجود دارد.

در مقاله [۱۲]، یک الگوریتم مسیریابی جدید مبتنی بر خوشه‌بندی به نام GCAR بر اساس الگوریتم ژنتیک ارائه شد، که ابتدا خودروها در یک زیرساخت مبتنی بر خوشه‌های پویا قرار گرفتند؛ سپس با انتخاب دو خودرو در هر خوشه به عنوان خودروهای دروازه بین خوشه‌های همسایه، یک زنجیره خودرویی تشکیل شد؛ همچنین برای خوشه‌بندی از ترکیب الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌شده استفاده شد که سرخوشه‌های مناسب را شناسایی می‌کند. نتایج شبیه‌سازی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که به‌طور متوسط نرخ کشف مسیر الگوریتم پیشنهادی ۱/۱۷۴٪، 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.

در مقاله [۱۳]، برای ارائه یک پروتکل مسیریابی انرژی آگاه از یک سامانه منطقه‌ای فازای شهودی برای تنظیم پارامتر تمایل گر در پروتکل مسیریابی AODV کمک گرفته شده‌است. تصمیم برای شرکت‌کردن هر گر متحرک در مسیریابی به وسیله سامانه منطقه‌ای فازای شهودی با مقدار انرژی باقی‌مانده و مقدار انرژی مصرفی گرفته می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده نشان

برای یافتن طرح مسیریابی بهینه استفاده کرد. الگوریتم کلونی مورچه‌ها رفتار مورچه‌ها را در فرایند جست‌وجوی غذا شبیه‌سازی و عواملی مانند احتمال انتقال و غلظت فرومون را بهینه می‌کند تا مورچه‌ها بتوانند کوتاه‌ترین مسیر را پیدا کنند. در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، موقعیت‌های گر را می‌توان به عنوان گرهای مرجع و گرهای لنگر، همراه با تابع هدف بهینه‌سازی مسیریابی شبکه حسگر بی‌سیم و بهبود الگوریتم کلونی مورچه‌ها برای حل مسیر بهینه استفاده کرد و شبکه حسگر بی‌سیم بهینه را به‌دست آورد. از طریق نتایج تجربی طرح بهینه‌سازی مسیریابی، می‌توان دریافت که روش پیشنهادی از نظر مصرف انرژی، تأخیر انتقال، تعداد گرهای مرده و توان عملیاتی شبکه عملکرد خوبی دارد. این نتایج بهینه‌سازی پیامدهای مثبتی برای توسعه پایدار و کاربرد عملی اینترنت اشیا دارد که می‌تواند توسعه اقتصاد دیجیتال را بهبود بخشد و ساخت شهرهای هوشمند را افزایش دهد. در مقاله [۹]، بیان شده‌است که شبکه‌های همکاری خودرویی (VANETs) با چالش‌های قابل‌توجهی در ارائه خدمات با کیفیت مواجه‌اند. این شبکه‌ها به خودروها امکان تبادل اطلاعات حیاتی مانند موانع جاده و تصادفات را می‌دهند و از انواع حالت‌های ارتباطی معروف به خودرو با همه چیز (V2X) پشتیبانی می‌کنند. در این مقاله پژوهشی، یک روش هوشمند برای بهبود کیفیت خدمات با بهینه‌سازی انتخاب مسیر بین خودروها پیشنهاد می‌شود که هدف آن کاهش هزینه شبکه و افزایش کارایی مسیریابی است.

رویکرد پیشنهادی شامل یکپارچه‌سازی بهینه‌سازی مورچه‌ای (ACO) در پروتکل مسیریابی بهینه‌شده وضعیت لینک (OLSR) است؛ اثربخشی این روش از طریق اجرا و آزمایش‌های شبیه‌سازی با استفاده از شبیه‌سازی حرکت شهری (SUMO) و شبیه‌ساز شبکه (NS3) تأیید می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم سنتی OLSR، در موارد توان انتقال، نرخ تحویل بسته میانگین (PDR)، تأخیر انتها به انتها (E2ED) و هزینه مسیریابی میانگین عملکرد بهتری دارد.

در مقاله [۱۰]، یک روش به نام MACSA برای تنظیم شبکه‌های حمل‌ونقل عمومی اتوبوسی پیشنهاد می‌شود. این روش از الگوریتم کلونی مورچه و یک الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه استفاده می‌کند. هدف اصلی این روش، بهبود کیفیت خدمات حمل‌ونقل و کمینه‌کردن تغییرات در شبکه پیشین است. روش MACSA ابتدا خطوط اتوبوس را بر اساس عملکردشان مرتب می‌کند؛ سپس با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه، خطوط را به ترتیب بهبود می‌دهد؛ به علاوه، یک هدف جدید به نام درجه تنظیم معرفی

¹ Vehicle-to-Everything

می‌دهد، این پروتکل از نظر نرخ تحویل بسته و زمان عمر شبکه از عملکرد خوبی برخوردار است.

در مقاله [۱۴]، یک مدل برنامه‌ریزی مسیر شهری با تمرکز بر نیازهای راننده توسعه داده شده‌است. هدف این پژوهش توسعه یک سامانه مسیریابی و جست‌وجوی هوشمند است که به رانندگان امکان می‌دهد سریع و کارآمد مکان‌های مناسب پارک را شناسایی کنند. این مدل به‌طور خاص به تحلیل داده‌های دقیق و بلادرنگ مربوط به وضعیت پارکینگ و ترافیک شهر می‌پردازد. از داده‌های جمع‌آوری شده از حس‌گرها و سامانه‌های هوشمند برای بهبود دقت و کارایی سامانه جست‌وجو استفاده شده‌است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهند که استفاده از مدل‌های هوشمند می‌تواند زمان جست‌وجو برای پارکینگ را کاهش قابل توجهی دهد و رضایت رانندگان را افزایش دهد؛ همچنین نتیجه‌گیری شد که با استفاده از فناوری‌های جدید و تحلیل‌های داده‌محور، توسعه سامانه‌های مسیریابی و جست‌وجوی هوشمند می‌تواند به بهبود کارایی مسیریابی، کاهش آلودگی شهرها با کاهش ترافیک در شهرها کمک کند و بهره‌وری فضاهای پارکینگ را بهینه سازد و به بهبود کیفیت زندگی شهری کمک کند.

در مقاله [۱۵]، بر ارائه یک پروتکل مسیریابی تأکید دارد که بتواند هم‌زمان به کارایی و اعتمادپذیری شرایط پویا پاسخ دهد. هدف اصلی این مقاله توسعه یک پروتکل مسیریابی است که بتواند با استفاده از تکنیک‌های هوش محاسباتی، بهینه‌سازی عملکرد وسایل نقلیه خودران را در شبکه‌های تلفن همراه با فناوری‌های نسل ششم ۴G محقق سازد. به‌ویژه، تمرکز بر افزایش سرعت انتقال داده، کاهش تأخیر و ارائه امنیت بالا است که از الزامات اصلی این شبکه‌ها به شمار می‌آید. پژوهش‌گران در این مطالعه از ترکیبی از الگوریتم‌های هوش مصنوعی و روش‌های یادگیری ماشین برای طراحی و پیاده‌سازی پروتکل مسیریابی جدید استفاده کرده‌اند. این پروتکل قادر است به‌طور پویا و بر اساس وضعیت شبکه، مسیریابی بهینه را انجام دهد. شبیه‌سازی‌های گسترده‌ای برای ارزیابی کارایی این پروتکل در محیط‌های مختلف با توجه به شرایط متغیر انجام شده‌است. نتایج پژوهش نشان‌دهنده این است که پروتکل پیشنهادی قادر به کاهش چشم‌گیر تأخیر و افزایش نسبت تحویل داده نسبت به پروتکل‌های موجود است. در عین حال، این پروتکل توانسته است با ارائه لایه‌های امنیتی جدید، به اعتمادپذیری ارتباطات در شبکه‌های ۴G کمک کند؛ همچنین مشهود است که استفاده از هوش محاسباتی در بهبود عملکرد کلی سامانه تأثیر مستقیمی دارد.

در مقاله [۱۶]، بررسی چالش‌های موجود در شبکه‌های بی‌سیم ادهاک (MANETs) انجام شده و یک الگوریتم مسیریابی هوشمند و سازگار مبتنی بر یادگیری عمیق تقویتی را ارائه می‌دهد. شبکه‌های بی‌سیم ادهاک سیار به‌عنوان

شبکه‌هایی خودسازمانده از چندین گره متحرک تشکیل شده‌اند که نیاز به مسیریابی مؤثر و قابل اعتماد در آن‌ها احساس می‌شود. این مقاله به‌دنبال رفع مشکلاتی مانند بار نامتعادل، کاهش نرخ انتقال و ضعف در عملکرد ضد تخریب و قابلیت اطمینان است. در این پژوهش، یک الگوریتم مسیریابی هوشمند جدید مبتنی بر مدل PER-D3QN یادگیری عمیق تقویتی طراحی شده‌است. برای تحقق این هدف، ابتدا مسئله مسیریابی به‌دقت مدل‌سازی و چهارچوب یادگیری تقویتی چندعاملی برای مسیریابی طراحی می‌شود. تابع پاداش این الگوریتم به‌گونه‌ای تنظیم شده‌است که عوامل متعددی را در نظر بگیرد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که این الگوریتم توانسته‌است انرژی مصرفی شبکه و بار گره‌ها را به‌خوبی متعادل کند؛ به‌طوری‌که متوسط انرژی باقی‌مانده بیش از ۱۰٪ افزایش و PL (Packet Loss) حداقل ۱۰٪ کاهش یافته‌است؛ همچنین، این الگوریتم منجر به کاهش متوسط تأخیر انتقال بسته‌ها بیش از ۲۲٪ نسبت به سایر الگوریتم‌ها و حفظ نسبت ارسال بسته‌ها در حد بالا شده‌است؛ درنهایت، مقاله به تبیین اهمیت استفاده از یادگیری عمیق تقویتی در بهبود پروتکل‌های مسیریابی پرداخته و به‌عنوان یک راه‌کار مؤثر برای افزایش کارایی و قابلیت اعتماد در شبکه‌های ادهاک سیار معرفی شده‌است.

در مقاله [۱۷]، به بررسی یک سامانه هوشمند مدیریت ترافیک به نام CamTra با استفاده از بهینه‌سازی الگوریتم DQN به‌عنوان یک رویکرد هوش مصنوعی برای مدیریت الگوریتم‌های مسیریابی هوشمند به منظور کاهش ترافیک و بهینه‌سازی جریان وسایل نقلیه می‌پردازد. این الگوریتم قادر به تجزیه و تحلیل شرایط ترافیکی و اتخاذ تصمیمات بهینه برای همسان‌سازی الگوهای حرکت وسایل نقلیه است. این امر منجر به بهبود فرایند مسیریابی و کاهش زمان تأخیر و زمان انتظار در تقاطع‌ها و بهبود سامانه‌های شناسایی ترافیکی می‌شود. الگوریتم DQN به‌عنوان مدل اصلی برای بهینه‌سازی کنترل زمان سیگنال‌های ترافیکی استفاده شده‌است. این الگوریتم با نظارت بر شرایط واقعی ترافیک و شناسایی الگوها از طریق داده‌های دریافت‌شده از دوربین‌های CamTra، قادر به اتخاذ تصمیمات دینامیک و بهینه برای تنظیم زمان چراغ‌ها است. شبیه‌سازی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که استفاده از الگوریتم DQN منجر به کاهش قابل توجهی در زمان تأخیر وسایل نقلیه و کاهش متوسط زمان انتظار در تقاطع‌ها شده‌است. نتایج نشان می‌دهند که الگوریتم پیشنهادی توانسته‌است میانگین زمان تأخیر را تا ۲۵٪ و زمان انتظار را تا ۳۰٪ کاهش دهد.

در مقاله [۱۸]، به بررسی بهبود الگوریتم بهینه‌سازی کلنی مورچگان (ACO) به‌عنوان راه‌حلی برای مسئله فروشنده دوره‌گرد (TSP) می‌پردازد. این مقاله به‌طور خاص بررسی می‌کند که چگونه تغییرات در الگوریتم سنتی ACO می‌تواند به

موجودات زنده مانند مورچه‌ها و پرندگان الهام گرفته‌اند و توانایی یافتن راه‌حل‌های بهینه در محیط‌های پویا را دارند. کاربرد ACO در مسیریابی شهری: الگوریتم ACO به‌طور خاص در حل مسئله فروشنده دوره‌گرد (TSP) و مسیریابی در شبکه‌های شهری مورد استفاده قرار گرفته‌است. این الگوریتم با استفاده از سازوکار فرومون، توانایی یافتن مسیرهای بهینه در شرایط پیچیده را دارد.

۳-۲- مسیریابی در شبکه‌های VANET و IoT

شبکه‌های VANET شبکه‌های ادهاک وسایل نقلیه: در این شبکه‌ها، خودروها به‌طور پویا با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند و اطلاعات ترافیکی و امنیتی را به اشتراک می‌گذارند. چالش‌های اصلی در این شبکه‌ها شامل تأخیر کم، قابلیت اطمینان بالا و امنیت داده‌ها است.

اینترنت اشیا (IoT) و شبکه‌های حسگر بی‌سیم: در این شبکه‌ها، گره‌های حسگر برای جمع‌آوری و انتقال داده‌های محیطی استفاده می‌شوند. الگوریتم‌های مسیریابی در این شبکه‌ها باید مصرف انرژی را بهینه‌سازی کرده و طول عمر شبکه را افزایش دهند.

۴-۲- مسیریابی با در نظر گرفتن محدودیت‌های واقعی

ترافیک سنگین و زمان‌بندی: برخی از پژوهش‌های اخیر بر روی مسیریابی با در نظر گرفتن ترافیک سنگین و زمان‌بندی بهینه تمرکز کرده‌اند. این روش‌ها سعی می‌کنند مسیرهایی را انتخاب کنند که زمان سفر را به کمینه برسانند.

امنیت و خطرات جاده‌ای: در برخی مطالعات، امنیت مسیر و خطرات جاده‌ای به‌عنوان عوامل مهم در مسیریابی در نظر گرفته شده‌اند. این روش‌ها مسیرهایی را انتخاب می‌کنند که از مناطق جرم‌خیز و خطرناک دوری کنند. ترکیب عوامل چندگانه: پژوهش‌هایی نیز وجود دارند که سعی کرده‌اند عوامل مختلفی مانند ترافیک، امنیت و زمان سفر را هم‌زمان در نظر بگیرند و مسیرهایی بهینه ارائه دهند.

۵-۲- نوآوری‌های اخیر در مسیریابی هوشمند

استفاده از یادگیری ماشین و یادگیری تقویتی: در سال‌های اخیر، الگوریتم‌های یادگیری ماشین و یادگیری تقویتی عمیق (DRL) برای مسیریابی هوشمند مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این الگوریتم‌ها توانایی یادگیری از داده‌های گذشته و پیش‌بینی شرایط آینده را دارند.

بهینه‌سازی چندهدفه: برخی از پژوهش‌هایی اخیر بر روی بهینه‌سازی چندهدفه تمرکز کرده‌اند که در آن چندین هدف مانند کاهش زمان سفر، افزایش امنیت و کاهش مصرف انرژی هم‌زمان در نظر گرفته می‌شوند.

بهبود کارایی و دقت در حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی کمک کند. در این پژوهش، یک نسخه اصلاح‌شده از الگوریتم ACO تحت عنوان AddACO ارائه می‌شود؛ این الگوریتم با استفاده از روش‌های الهام‌گرفته از طبیعت، به بهینه‌سازی مسیر برای فروشنده دوره‌گرد پرداخته و اهدافی همچون کاهش زمان محاسبات و بهبود دقت پیش‌بینی‌ها را دنبال می‌کند. متدولوژی آزمایش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که الگوریتم AddACO عملکرد بهتری نسبت به نسخه‌های پیشین ACO در حل TSP دارد. نتایج حاکی از آن است که استفاده از پارامترهای جدید و استراتژی‌های بهینه‌سازی منجر به کاهش قابل توجهی در هزینه سفر و بهبود کیفیت حل مسئله می‌شود؛ همچنین نتایج نشان می‌دهد که AddACO به‌عنوان یک الگوریتم مؤثر و کارآمد می‌تواند به بهبود فرآیندهای مسیریابی و بهینه‌سازی در مسائل دنیای واقعی کمک کند.

در انتهای این بخش، پیشینه پژوهش در حوزه مسیریابی هوشمند و کاربرد الگوریتم‌های بهینه‌سازی در حل مسائل شهری به‌طور روشمند دسته‌بندی و بررسی می‌شود. این دسته‌بندی شامل سامانه‌های مسیریابی سنتی و متمرکز، سامانه‌های غیرمتمرکز و هوشمند، مسیریابی در شبکه‌های VANET و IoT، مسیریابی با در نظر گرفتن محدودیت‌های واقعی، نوآوری‌های اخیر در مسیریابی هوشمند و خلأهای پژوهشی موجود است. با بررسی این دسته‌بندی، درک بهتری از پیشرفت‌های صورت‌گرفته در این حوزه و نیاز به روش‌های نوین برای حل چالش‌های موجود به‌وجود خواهد آمد.

۱-۲- سامانه‌های مسیریابی سنتی و متمرکز

تمرکز بر مسیریابی کوتاه‌ترین مسیر: در روش‌های سنتی، تمرکز اصلی بر یافتن کوتاه‌ترین مسیر بین مبدأ و مقصد بوده‌است. این روش‌ها بر حسب معمول از الگوریتم‌هایی مانند دایجسترا یا الگوریتم‌های مبتنی بر گراف استفاده می‌کنند؛ با این حال، این روش‌ها محدودیت‌هایی مانند عدم توجه به عوامل واقعی مانند ترافیک، امنیت و خطرات جاده‌ای دارند.

چالش‌های سامانه‌های متمرکز: سامانه‌های متمرکز با مشکلاتی مانند پیچیدگی محاسباتی بالا، وابستگی به داده‌های مرکزی و عدم انعطاف‌پذیری در برابر تغییرات پویا مواجه‌اند. در صورت بروز خرابی در سامانه، عملکرد کلی آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

۲-۲- سامانه‌های مسیریابی غیرمتمرکز و هوشمند

استفاده از الگوریتم‌های هوش جمعی: الگوریتم‌هایی مانند بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها (ACO) و بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) به‌طور گسترده‌ای در مسیریابی غیرمتمرکز استفاده شده‌اند. این الگوریتم‌ها از رفتار جمعی

۲-۶- خلاهای پژوهشی و نیاز به روش‌های نوین

عدم توجه کافی به محدودیت‌های واقعی: بسیاری از روش‌های موجود تنها بر روی یک یا دو عامل (مانند زمان سفر یا فاصله) تمرکز کرده‌اند و عوامل دیگری مانند امنیت و خطرات جاده‌ای را نادیده گرفته‌اند.

نیاز به روش‌های تطبیقی و پویا: با توجه به پویایی محیط‌های شهری، نیاز به روش‌هایی است که بتوانند خودکار با تغییرات شرایط ترافیکی و امنیتی سازگار شوند. ادغام روش‌های هوش مصنوعی و بهینه‌سازی: ترکیب روش‌های هوش مصنوعی مانند یادگیری ماشین با الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌تواند به بهبود عملکرد سامانه‌های مسیریابی کمک کند.

۳- روش پژوهش

در پیاده‌سازی روش پیشنهادی از داده‌های جغرافیایی مربوط به نقشه ترافیکی شهر شیراز واقع در استان فارس استفاده شده‌است. این داده‌ها شامل مختصات جغرافیایی بانک‌های مختلف و مسیرهای بین آن‌هاست.

از نرم‌افزار Folium در پایتون برای بصری‌سازی داده‌های جغرافیایی استفاده شده‌است؛ سپس نقاط بحرانی مانند مناطق پرتراffیک، مناطق با امنیت پایین و مسیرهای خطرناک شناسایی و به‌عنوان وزن‌های اضافی در نظر گرفته شده‌اند. این نقاط بحرانی بر اساس داده‌های واقعی ترافیکی، نرخ جرم و شرایط جاده‌ای تعیین شده‌اند. فاصله بین بانک‌ها با استفاده از فرمول Haversine محاسبه شده‌است. این فرمول بر اساس طول و عرض جغرافیایی هر نقطه، فاصله مستقیم بین دو نقطه روی سطح کره زمین را محاسبه می‌کند؛ سپس نقشه شهری شیراز به یک نمایش گرافی تبدیل شده‌است که شامل گره‌ها (بانک‌ها) و لبه‌ها (مسیرهای بین بانک‌ها) است؛ این تبدیل به ساده‌سازی مسئله و اعمال الگوریتم‌های تحلیل گراف کمک می‌کند. وزن‌های مختلفی برای مسیرها تعریف شده‌اند که شامل فاصله، حجم ترافیکی، نرخ جرم و شرایط ناامن رانندگی است. این وزن‌ها به‌عنوان پارامترهای اکتشافی در الگوریتم پیشنهادی استفاده شده‌اند.

الگوریتم مورد استفاده در این پژوهش، الگوریتم تکاملی بهینه‌سازی کلونی مورچگان ACO مبتنی بر هوش ازدحامی است. هوش ازدحامی یا هوش جمعی تأکید بر قابلیت‌های جمعی دارد. عامل‌ها به طور محلی با هم همکاری می‌کنند و رفتار جمعی تمام عامل‌ها باعث هم‌گرایی در نقطه‌ای نزدیک به جواب بهینه سراسری می‌شود.

در روش (ACO)، مورچه‌های مصنوعی به وسیله حرکت بر روی نمودار مسئله و با باقی‌گذاشتن نشانه‌هایی بر روی

نمودار، همچون مورچه‌های واقعی که در مسیر حرکت خود یک ماده شیمیایی به نام فرومون به جهت نشانه‌گذاری قرار می‌دهند، باعث می‌شوند که مورچه‌های مصنوعی بعدی بتوانند راه‌حل‌های بهتری را برای مسئله فراهم کنند. از کاربردهای این الگوریتم، رسیدن به راه حل کمابیش بهینه در مسئله فروشنده دوره‌گرد (TSP) است.

در روش پیشنهادی، هدف نگاشت مسئله مسیریابی شهری به مسئله فروشنده دوره‌گرد، با اضافه کردن اطلاعات اکتشافی و سعی بر حل مسئله مسیریابی هوشمند برای ماشین‌های حمل پول در شبکه ترافیکی شهری شیراز با هدف پیدا کردن کوتاه‌ترین، مؤثرترین، امن‌ترین و کم‌ترافیکی‌ترین مسیر همیلتونی روی گراف درون شهری است؛ هدف از مسئله TSP یافتن کوتاه‌ترین مسیر (با کمترین وزن کلی) است؛ یعنی تمام گره‌ها در کوتاه‌ترین مسیر ممکن پیمایش شود؛ به‌طوری که هر گره به‌طور دقیق یک‌بار مشاهده شود و به رأس آغازین برگردد. در اینجا، کوتاه‌ترین مسیر به معنای مسیری است که مجموع وزن‌های یال‌ها (با در نظر گرفتن ترافیکی، امنیت و خطرات) کمینه شود.

مسئله فروشنده دوره‌گرد جزو مسائل NP-Hard است؛ یعنی به عبارت ساده‌تر تعداد جواب‌های احتمالی برای حل آن دارای فضا و بعد زیادی است. تعداد جواب‌های احتمالی برای n شهر در مسئله فروشنده دوره‌گرد $(n-1)!/2$ است؛ یعنی برای هشت گره موجود در مسئله این مقاله باید از بین $(8-1)!/2$ حالت دنبال یک جواب برگردیم؛ بنابراین بررسی تمامی این جای‌گشت‌ها حتی برای گره‌های کمتر نیز مشکل خواهد بود؛ به همین خاطر مسئله فروشنده دوره‌گرد جزو مسائل NP-Hard است.

نظریه گراف مسئله فروشنده دوره‌گرد به‌صورت زیر شرح داده می‌شود:

گراف $G=(V,E)$ داده شده‌است. V مجموعه رئوس و E مجموعه لبه‌ها است. D ماتریس فاصله است که فاصله بین نقاط i و j تشکیل شده و مقرراتی برای تعیین طول کوتاه‌ترین حلقه است.

در این پژوهش هر گره مشخص‌شده با نشان‌گر آبی روی گراف شهری شیراز در شکل (۱) یک بانک است و بانک ملی مرکزی که با نشان‌گر قرمز مشخص شده‌است، گره آغازین و پایانی برای ماشین حمل پول است و یال‌ها، مسیرهای بین گره‌ها را نشان می‌دهند. هر یال دارای وزن‌هایی است که عوامل مختلفی مانند زمان سفر (با توجه به ترافیکی)، خطرات جاده‌ای و سطح امنیت را منعکس می‌کند. مورچه‌ها به‌طور دقیق یک‌بار از هر گره بازدید و متناسب با معکوس وزن اطلاعات اکتشافی که شامل مسافت، حجم ترافیکی، نرخ جرم و رانندگی ناایمن در هر مسیر است فرومون‌ریزی می‌کنند، فرمول (۱).

پارامترهای مربوط به معکوس وزن اطلاعات اکتشافی بین دو گره i و j شامل:

مسافت: $w_0 \times distance_{ij}$

حجم ترافیک: $w_1 \times traffic\ volume_{ij}$

نرخ جرم: $w_2 \times crime\ rate_{ij}$

رانندگی ناایمن: $w_3 \times unsafe\ to\ drive\ rate_{ij}$ در هر مسیر است و η_{ij} مقدار فرومون ریزی بر اساس اطلاعات اکتشافی است.

محاسبه به روزرسانی فرومون با اطلاعات اکتشافی به روز شده:

هدف مرحله به روزرسانی فرومون، افزایش مقادیر فرومون متناظر با جواب‌های داوطلب خوب و بهینه و کاهش مقادیر فرومون متناظر با جواب‌های نامناسب است. چنین کاری از طریق دو فرایند عمده انجام می‌شود:

بخش نخست این رابطه، فرایند تبخیر فرومون $1 - \rho \times \tau_{ij}$ است که ρ میزان تبخیر و τ_{ij} میزان فرومون موجود روی مسیر است. بخش دوم این رابطه، تنها مقادیر فرومون متناظر با جواب‌های داوطلب عضو مجموعه «جواب‌های خوب» را افزایش می‌دهد. $\Delta\tau_{ij}$ مجموع فرومون‌های موجود با اطلاعات اکتشافی به روز شده بر روی مسیر است.

(۲)

$$\begin{aligned}\tau_{ij}(t+1) &= 1 - \rho \times \tau_{ij} \\ &+ \sum_{k=0}^{k\ total\ ants} \Delta\tau_{ij} \times (1 - w_0 \times distance_{ij}) \\ \tau_{ij}(t+1) &= 1 - \rho \times \tau_{ij} \\ &+ \sum_{k=0}^{k\ total\ ants} \Delta\tau_{ij} \times (1 - w_1 \times traffic\ volume_{ij}) \\ \tau_{ij}(t+1) &= 1 - \rho \times \tau_{ij} \\ &+ \sum_{k=0}^{k\ total\ ants} \Delta\tau_{ij} \times (1 - w_2 \times Security\ rate_{ij}) \\ \tau_{ij}(t+1) &= 1 - \rho \times \tau_{ij} \\ &+ \sum_{k=0}^{k\ total\ ants} \Delta\tau_{ij} \times (1 - w_3 \times unsafe\ to\ drive\ rate_{ij})\end{aligned}$$

محاسبه احتمال انتخاب مسیر توسط مورچه‌ها:

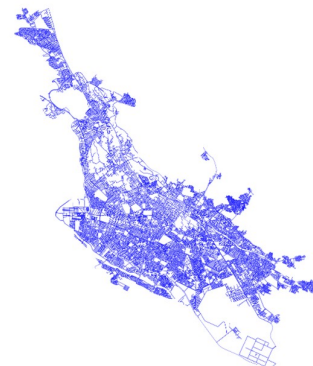
P_{ij} احتمال حرکت از گره i به j و τ_{ij} مقدار فرومون موجود روی مسیر از گره i به j و η_{ij} اطلاعات اکتشافی است. در فرمول (۳)، دو پارامتر α و β وجود دارد که کاربر به الگوریتم به عنوان مقدار اولیه می‌دهد. اگر پارامتر α بیشتر از β باشد، یک مورچه بیشتر به مقدار فرومون‌ها یعنی پیام‌های

$$\eta_{ij} = \frac{1}{w_0 \times distance_{ij} + w_1 \times traffic\ volume_{ij} + w_2 \times Security\ rate_{ij} + w_3 \times unsafe\ to\ drive\ rate_{ij}}$$

در این بخش، نحوه نگاشت مسئله مسیریابی شهری به مسئله فروشنده دوره گرد (TSP) توضیح داده می‌شود. محدودیت‌های واقعی مانند ترافیک سنگین، امنیت پایین و رانندگی خطرناک به عنوان وزن‌های اضافی در نظر گرفته می‌شوند. فرمول (۲) نشان دهنده تبدیل این محدودیت‌ها به پارامترهای مسئله TSP است؛ به عبارت دیگر، اگر مورچه یک مسیر طولانی، یک مسیر پرترافیک، یک مسیر با رانندگی پرخطر یا یک مسیر درگیر با نرخ بالای جرم را طی کند، فرومون ریزی کمتری انجام می‌دهد. با این تبادل اطلاعات، مورچه‌های دیگر، به طور غریزی، قوی‌ترین مسیر فرومون موجود را در محیط دنبال و رد فرومون را در این مسیر تقویت می‌کنند و احتمال انتخاب مسیرهای با غلظت فرومون ضعیف کمتر می‌شود فرمول (۳).



(الف)



(ب)

(شکل ۱- (الف): نقشه ترافیکی شهر شیراز (بانک ملی مرکزی با نشانگر قرمز و بانک‌های هدف با نشانگر آبی) (ب): نقشه شیراز (Figure-1): (A): Traffic map of Shiraz city (Central National Bank with red marker and target banks with blue marker) (B): Map of Shiraz.

فرومون ریزی با محاسبه وزن اطلاعات اکتشافی به روزرسانی شده:

$$\text{Security} = 100 \times \left(\frac{x}{c}\right) - \%100 \quad (5)$$

پارامترهای مربوط به محاسبه درصد میزان امنیت:
امنیت: Security

تعداد نقاط بحرانی عبور داده شده: x

تعداد نقاط بحرانی: c

یافتن گره‌ها و لبه‌ها:

تبدیل نقشه به نمایش گرافی که تنها از گره‌ها و لبه‌ها تشکیل شده باشد، شکل (۲) مزایای متعددی دارد:

۱- ساده‌سازی: با تبدیل نقشه به نمایش گرافی می‌توانیم مسئله را به شکلی ساده‌تر و قابل مدل‌سازی در نظر بگیریم. به جای بررسی تمام جزئیات نقشه، به سادگی می‌توانیم روابط بین گره‌ها را بررسی کنیم.

۲- تحلیل محاسباتی: با داشتن نمایش گرافی می‌توانیم الگوریتم‌ها و روش‌های تحلیل گراف را بر روی نقشه اعمال کنیم. این امر می‌تواند به تشخیص الگوها، پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیرها، یا حل سایر مسائل محاسباتی مربوط به نقشه کمک کند.

قابلیت توسعه: با تبدیل نقشه به نمایش گرافی می‌توانیم به راحتی گره‌ها و لبه‌ها را اضافه، حذف یا تغییر دهیم؛ این امر به ما امکان می‌دهد تغییرات در نقشه را با تغییرات معادل در نمایش گرافی اعمال کنیم؛ بنابراین، تبدیل نقشه به نمایش گرافی می‌تواند بهبودهای مهمی در تحلیل محاسباتی و ساده‌سازی و توسعه مسائل مربوط به نقشه ایجاد کند.

سایر مورچه‌ها توجه می‌کند تا اطلاعات اکتشافی و اگر مقدار بتا بیشتر از آلفا باشد، اطلاعات اکتشافی بیشتر از مقدار فرومون‌ها (تجربه مورچه‌های پیشین) در انتخاب مسیر مورچه تأثیر می‌گذارد.

$$P_{i,j} = \frac{(\tau_{ij})^\alpha (\eta_{i,j})^\beta}{\sum (\tau_{ij})^\alpha (\eta_{i,j})^\beta} \quad (3)$$

محاسبه زمان بهینه در مسیریابی هوشمند با در نظر گرفتن نقاط بحرانی:

زمان بهینه با در نظر گرفتن نقاط بحرانی به صورت ترکیبی از طول مسیر و زمان اضافی ناشی از ورود به نقاط بحرانی محاسبه می‌شود، فرمول (۴).

(۴)

$$\text{critical}^T + L = \text{Total}^T$$

پارامترهای مربوط به محاسبه زمان بهینه:

زمان اضافی برای ورود به نقطه بحرانی:

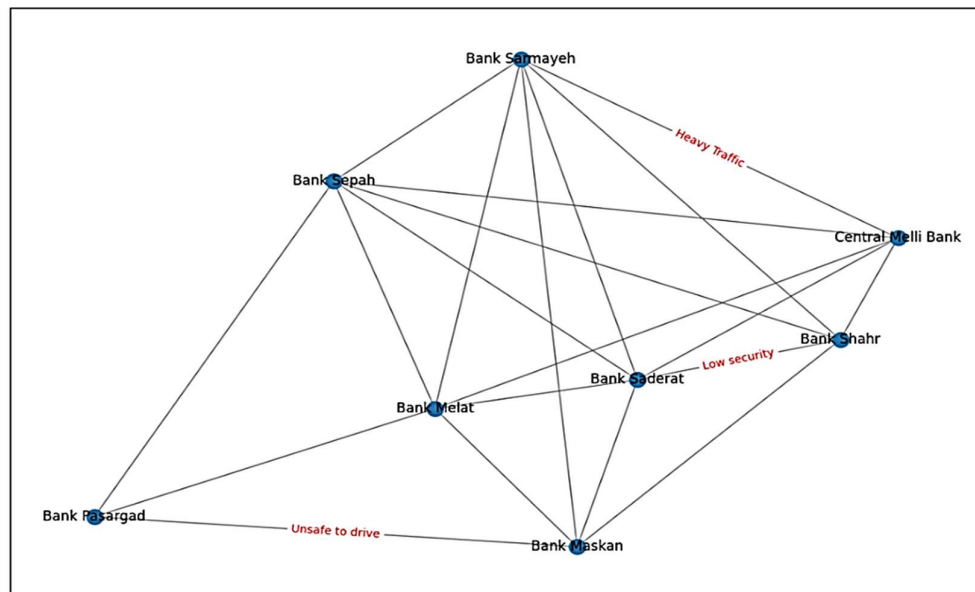
$$\text{critical}^T = 10$$

طول مسیر: L

زمان کل: Total^T

محاسبه درصد میزان امنیت با توجه به نقاط بحرانی و وزن آن‌ها:

با فرمول (۵) می‌توان درصد میزان امنیت را بر اساس تعداد نقاط بحرانی عبور کرده محاسبه کرد.



(شکل-۲): نمایش گرافی، گره‌ها و مسیرها و مسیریابی بحرانی بانک ملی مرکزی (نقطه آغازین و پایانی) و بانک‌های هدف

(Figure-2): Graphic representation, nodes and routes and critical routes Central National Bank (starting and ending point) and target banks

تعریف گره‌ها: هر نقطه یا موقعیت مهم در نقشه می‌تواند به‌عنوان یک گره در نمایش گرافی در نظر گرفته شود؛ برای مثال، هر ساختمان، خیابان، یا مکان مهم دیگر در نقشه می‌تواند به‌عنوان یک گره در نمایش گرافی تعریف شود که در این مسئله هشت بانک به‌عنوان گره و موقعیت مهم در نظر گرفته شده‌اند.

تعریف لبه‌ها: هر ارتباط بین دو گره مجاور می‌تواند به‌عنوان یک لبه در نمایش گرافی در نظر گرفته شود؛ برای مثال، اگر بین دو بانک یک خیابان وجود داشته باشد، می‌توانیم یک لبه بین دو گره بانک تعریف کنیم. در اینجا فرض می‌کنیم که مسیر بین دو بانک یک خط مستقیم است تا پیاده‌سازی آن آسان‌تر باشد. یال با برجسب Heavy Traffic شامل مسیری است که دارای حجم ترافیکی بالایی است، در اینجا مسیر خیابان طالقانی در بلوار زند (بانک ملی مرکزی) به میدان نمازی ابتدای خیابان ملاصدرا (بانک سرمایه) و بالعکس به‌عنوان یک مسیر پر ترافیک در نظر گرفته می‌شود؛ زیرا داده‌های ترافیکی نشان می‌دهد این مسیر یکی از مسیرهای با حجم ترافیک بالا در تمام طول روز است. برای این مسیر پرترافیک مقدار وزنی بالا به‌عنوان هزینه در نظر گرفته شده‌است.

یال با برجسب Low security شامل مسیری است که دارای امنیت پایین است. در اینجا، مسیر خیابان قآنی جنوبی (بانک صادرات) به خیابان حضرتی (بانک شهر) و بالعکس به‌عنوان یک مسیر با امنیت پایین در نظر گرفته می‌شود؛ این مسیر در بافت قدیمی شهر قرار دارد؛ به‌دلیل وجود تعداد زیاد مهاجران غیرقانونی، بالابودن نرخ جرم در این مناطق و بسته‌بودن راه‌ها به‌دلیل تخریب و ساخت‌وساز و وجود ماشین‌آلات سنگین، ازدحام تردد موتورهای و وجود خیابان‌های یک‌طرفه مسیری ناامن برای ماشین حمل پول و مقدار وزنی بالا به‌عنوان هزینه برای این مسیر در نظر گرفته شده‌است.

یال با برجسب Unsafet to drive شامل مسیری است که به‌دلیل رانندگی پرخطر جاده‌ای، ناایمن است؛ به‌دلیل وجود بزرگراه و محل تلاقی آن به مسیرهای اصلی و فرعی و استفاده از این بزرگراه به‌عنوان مسیر کم‌ربندی و عبور ماشین‌های سنگین و سواری با سرعت بالا، رانندگی پرخطر، همچنین عدم کیفیت بستر جاده‌ای احتمال بروز تصادفات و حوادث جاده‌ای افزایش پیدا می‌کند. برای این مسیر ناایمن و پرخطر مقدار وزنی بالا به‌عنوان هزینه در نظر گرفته شده‌است. با مشخص کردن اطلاعات اکتشافی برای الگوریتم و در نظر گرفتن مقدار هزینه برای هر یال بر اساس این اطلاعات، احتمال انتخاب مسیرهای با هزینه بالا کاهش می‌یابد؛

همچنین این مسیرها فرومون کمتری دریافت می‌کنند و شانس انتخاب مسیرهای دیگر با حجم ترافیک کمتر، امنیت بالاتر و رانندگی امن‌تر و کوتاه‌تر، با دریافت فرومون بیشتر افزایش می‌یابد. هزینه بالا، منعکس‌کننده عدم مطلوبیت مسیر، به‌دلیل افزایش زمان طی‌کردن مسیر، تأخیرهای احتمالی و کاهش ایمنی است و به‌عنوان یک بازدارنده، الگوریتم را به سمت مسیرهایی با جریان ترافیکی کمتر و امنیت بیشتر هدایت می‌کند؛ در نتیجه الگوریتم می‌تواند تصمیمات آگاهانه‌تری اتخاذ کند که فرایند انتخاب مسیر را بهینه می‌کند.

در الگوریتم (۱)، هر مورچه با انتخاب احتمالی شهر بعدی، بر اساس سطح فرومون و اطلاعات اکتشافی تعریف‌شده با در نظر گرفتن مقادیر وزنی هزینه، یک تور همیلتونی را می‌سازد. ماتریس فرومون بر اساس کیفیت تورها به‌روز می‌شود و با تبخیر فرومون، سطح فرومون به مرور زمان کاهش می‌یابد. بهترین تور سراسری هر زمان که تور بهتری پیدا شود به‌روزرسانی می‌شود. الگوریتم تا رسیدن به شرط پایانی تعداد بیشینه تکرارها یا هم‌گرایی، ادامه می‌یابد.

چهارچوب الگوریتم (۱):

- ۱- ماتریس فرومون بین هر دو شهر را مقداردهی اولیه کنید.
- ۲- مقادیر وزنی هزینه برای حجم ترافیکی بالا و امنیت پایین و خطر جاده‌ای را مشخص کنید و همچنین زمان اضافه برای نقاط بحرانی و تعداد نقاط بحرانی را مشخص کنید.
- ۳- الگوریتم را تا رسیدن به یک شرط پایانی ادامه دهید:
 - a. برای هر مورچه:
 - i. شهر فعلی مورچه را تصادفی مقداردهی اولیه کنید.
 - ii. تا وقتی که تمام شهرها بازدید شوند تکرار کنید:
 - A. احتمال انتخاب برای هر شهر در حالت بدون بازدید را براساس سطح فرومون و اطلاعات اکتشافی محاسبه کنید.
 - B. شهر بعدی را برای بازدید براساس احتمال انتخاب، انتخاب کنید.
 - C. مورچه را به شهر انتخاب‌شده منتقل کنید.
 - D. فهرست شهرهای بازدید‌شده را به‌روز کنید.
 - iii. ماتریس فرومون تور مورچه را بر اساس کیفیت تور به‌روز کنید.
 - b. اگر تور بهتری پیدا شود، بهترین تور همیلتونی را به‌روز کنید.
 - c. زمان و امنیت را محاسبه کنید.
 - d. ماتریس فرومون را بر اساس تبخیر فرومون و افزایش فرومون تور بهترین تور به‌روز کنید.
 - ۴- بهترین تور همیلتونی پیدا شده و زمان مصرفی و میزان امنیت را بازگردانید.

(الگوریتم-۱): فرایند الگوریتم پیشنهادی. (نگاشت مسئله)

مسیریابی شهری به مسئله فروشنده دوره گرد

(Algorithm-1): The process of the proposed algorithm (mapping the urban routing problem to the traveling salesman problem)

```

Input: ProblemSize, TrafficVolume,
SecurityRate, UnsafeDriveRate, PopulationSize,  $m, p, a, \beta, c, critical^T$ 
Output:  $P_{best}$ 
 $P_{best} \leftarrow CreateHeuristicSolution (ProblemSize, TrafficVolume, SecurityRate, UnsafeDriveRate);$ 
 $P_{bestcost} \leftarrow Cost (S_h);$ 
Pheromone  $\leftarrow InitializePheromone (P_{bestcost});$ 
while StopCondition() do
    Candidates  $\leftarrow \emptyset;$ 
    for  $i = 1$  to  $m$  do
         $S_i \leftarrow ProbabilisticStepwiseConstruction (Pheromone, ProblemSize, a, \beta);$ 
         $S_{i cost} \leftarrow Cost (S_i);$ 
        if  $S_{i cost} \leq P_{bestcost}$  then
             $P_{bestcost} \leftarrow S_{i cost};$ 
             $P_{best} \leftarrow S_i;$ 
            Time  $\leftarrow Total^T$ 
            Security  $\leftarrow CalculateSecurity$ 
    end
    Candidates  $\leftarrow S_i;$ 
end
DecayPheromone (Pheromone,  $p$ );
foreach  $S_i \in Candidates$  do
    UpdatePheromone (Pheromone,  $S_i, S_{i cost}$ );
end
return  $P_{best}, Time, Security$ 

```

lat₂ و lon₂: نشان دهنده طول و عرض جغرافیایی نقطه دوم است.

sin cos: توابع سینوس و کسینوس هستند.

arcsin: تابع آرک سینوس است.

هدف، نگاشت مسئله مسیریابی شهری به مسئله فروشنده دوره گرد با اضافه کردن اطلاعات اکتشافی به عنوان نقاط بحرانی و یافتن مؤثرترین مسیر با دورزدن مسیرهای بحرانی برای ماشین حمل پول بانک است.

در ابتدا الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان سنتی بر روی گراف شهری پیاده سازی شد؛ سپس الگوریتم پیشنهادی که نگاشت مسئله مسیریابی شهری به مسئله فروشنده دوره گرد است با در نظر گرفتن اطلاعات اکتشافی بیشتر شامل Heavy Traffic و Low security و Unsafet to drive پیاده سازی می شود.

الگوریتم ها با هشت گره و سی مورچه مصنوعی در تعداد تکرارهای ده، پنجاه، صد و دویست و تنظیم پویای پارامترهای آلفا ۰/۵ و ۰/۳ و ۱/۰ و بتا ۰/۵ و ۰/۳ و ۱/۵ و نرخ تبخیر ۰/۵ و ۰/۳ و ۱/۰ به حل مسئله TSP می پردازند، مسیریابی انجام می شود و الگوریتم ها مؤثرترین دور همیلتونی (مسیر) با پارامترهای بهینه جدول (۲) را می یابد.

با توجه به شکل (۴) دیده می شود که الگوریتم سنتی ACO کوتاه ترین مسیر را یافته است که از بانک ملی مرکزی شروع می شود ← بانک سرمایه ← بانک سپه ← بانک پاسارگاد ← بانک ملت ← بانک مسکن ← بانک صادرات ← بانک شهر ← و در نهایت به بانک ملی مرکزی برمی گردد، اما از مسیرهایی عبور می کند که طبق تعریف مسیرهای بحرانی و پرتراфик و دارای هزینه بالایی هستند و در دنیای واقعی این مسیرها باعث اختلال در حرکت و قرار گرفتن در موقعیت های ناایمن و افزایش زمان سفر می شوند.

در شکل (۵) الگوریتم پیشنهادی که نگاشت مسئله مسیریابی شهری به مسئله فروشنده دوره گرد است، با در نظر گرفتن هزینه بیشتر برای اطلاعات اکتشافی Heavy Traffic و Low security و Unsafet to drive الگوریتم اجازه می دهیم در طول فرایند بهینه سازی، رفتار خود را اصلاح کند و اطمینان حاصل می کنیم که در طیف وسیعی از سناریوها قوی و کارآمد باقی می ماند و به حل مسئله TSP و یافتن مؤثرترین مسیر با دورزدن مسیرهای بحرانی و پرتراфик می پردازد. مسیر بهینه از بانک ملی مرکزی شروع می شود ← بانک صادرات ← بانک مسکن ← بانک ملت ← بانک پاسارگاد ← بانک سپه ← بانک سرمایه ← بانک شهر ← و در نهایت به بانک ملی مرکزی برمی گردد؛ اگر چه مسیر نسبت به الگوریتم سنتی مورچگان کمی طولانی تر شد، اما زمان سفر کوتاه تر و بهینه شد و از قرار گرفتن در مسیرهای پرتراфик و ناایمن صرف نظر شده است.

۴- تحلیل و ارزیابی

داده های مورد استفاده در این مقاله داده های نقشه شهری شیراز واقع در استان فارس شامل هشت بانک و مسیرهای منتهی به آن هاست. در جدول (۱) فاصله بین بانک ها با روش Haversine محاسبه و نشان داده می شود. Haversine روش محاسبه فاصله بین دو نقطه روی کره زمین است که بر اساس قوانین هندسه کره ای انجام می شود؛ به طور کلی، فرمول هواوسین (۴) برای محاسبه فاصله بین دو نقطه با استفاده از طول و عرض جغرافیایی هر نقطه استفاده می کند. این فرمول بر اساس محاسبه قوس کوچک بین دو نقطه بر روی سطح کره زمین است؛ به طوری که این قوس معادل فاصله مستقیم بین دو نقطه است.

(۴)

$$d_{Haversine} = 2 \times r \times \arcsin(\sqrt{(\sin^2((lat_2 - lat_1)/2) + \cos(lat_1) \times \cos(lat_2) \times \sin^2((lon_2 - lon_1)/2))))$$

در این رابطه:

$d_{Haversine}$: نشان دهنده فاصله بین دو نقطه است.

r : نشان دهنده شعاع زمین است (بر حسب معمول در این رابطه برابر با متوسط شعاع زمین که در حدود ۶۳۷۱ کیلومتر است، در نظر گرفته می شود).

lat_1, lon_1 : نشان دهنده طول و عرض جغرافیایی نقطه نخست است.

فصل پنجم

(جدول-۱): فاصله هشت بانک مورد نظر با یکدیگر با توجه به مختصات جغرافیایی واقعی آنها

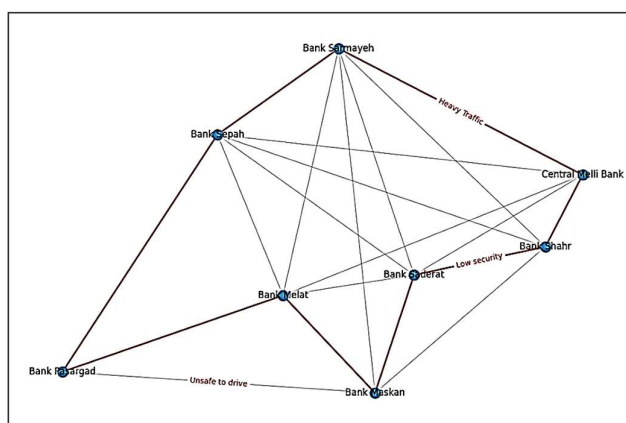
Table-1): The distance of the 8 banks in question with each other according to their actual geographical coordinates

نام بانک	بانک ملی مرکزی	بانک صادرات	بانک شهر	بانک مسکن	بانک ملت	بانک پاسارگاد	بانک سپه	بانک سرمایه
بانک ملی مرکزی	۰/۰۰۰	۲/۰۶۸	۰/۹۵۵	۳/۳۷۱	۳/۳۰۵	۵/۶۷۱	۳/۶۳۵	۲/۸۶۳
بانک صادرات	۲/۰۶۸	۰/۰۰۰	۱/۳۴۱	۱/۴۹۹	۱/۳۱۶	۳/۶۶۵	۲/۵۹۵	۲/۸۸۰
بانک شهر	۰/۹۵۵	۱/۳۴۱	۰/۰۰۰	۲/۴۶۰	۲/۲۵۶	۵/۰۰۴	۳/۱۷۵	۳/۱۷۵
بانک مسکن	۳/۳۷۱	۱/۴۹۹	۲/۴۶۰	۰/۰۰۰	۱/۵۰۳	۳/۰۹۳	۳/۵۳۳	۴/۲۴۷
بانک ملت	۳/۳۰۵	۱/۳۱۶	۲/۶۵۶	۱/۵۰۳	۰/۰۰۰	۲/۳۶۶	۲/۰۷۸	۳/۰۸۲
بانک پاسارگاد	۵/۶۷۱	۳/۳۶۵	۵/۰۰۴	۳/۰۹۳	۲/۳۶۸	۰/۰۰۰	۳/۲۸۹	۴/۸۱۵
بانک سپه	۳/۶۳۵	۲/۵۹۵	۳/۵۱۵	۳/۵۳۳	۲/۰۷۸	۳/۲۸۹	۰/۰۰۰	۱/۵۹۶
بانک سرمایه	۲/۸۶۳	۲/۸۸۰	۳/۱۷۵	۴/۲۴۷	۳/۰۸۲	۴/۸۱۵	۱/۵۹۶	۰/۰۰۰

(جدول-۲): پارامترهای بهینه در نگاشت مسئله مسیریابی شهری به مسئله فروشنده دوره گرد و یافتن مؤثرترین مسیر

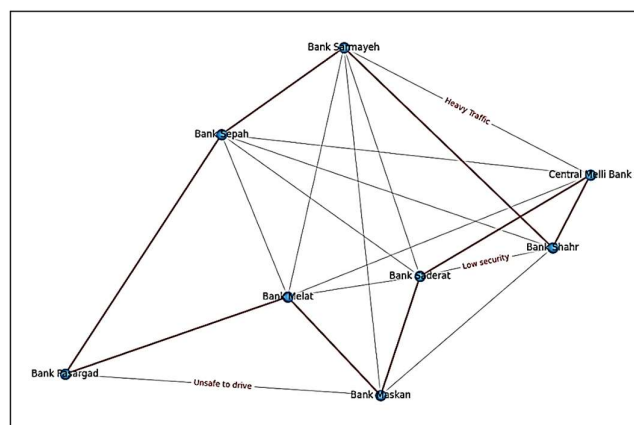
(Table-2): The most optimal parameters in mapping the urban routing problem to the traveling salesman problem and finding the most optimal route

الگوریتم سنتی	تعداد شهرها	تعداد مورچه‌ها	آلفا	بتا	نرخ تبخیر	تکرار	طول مسیر	زمان (دقیقه)	امنیت
الگوریتم سنتی	۸	۳۰	۰/۳	۰/۳	۰/۵	۵۰	۳۹/۴	۱۴۵	٪ ۳۳/۳۳
الگوریتم پیشنهادی با اطلاعات اکتشافی	۸	۳۰	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۱۰	۴۰/۴	۱۰۵	٪ ۱۰۰



(شکل-۴): مسیریابی الگوریتم سنتی کلونی مورچگان ACO

(Figure-4): Traditional ACO ant colony routing algorithm

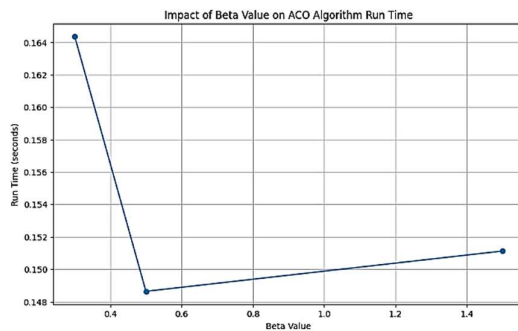


(شکل-۵): مسیریابی الگوریتم پیشنهادی (نگاشت مسئله مسیریابی شهری به مسئله فروشنده دوره گرد)

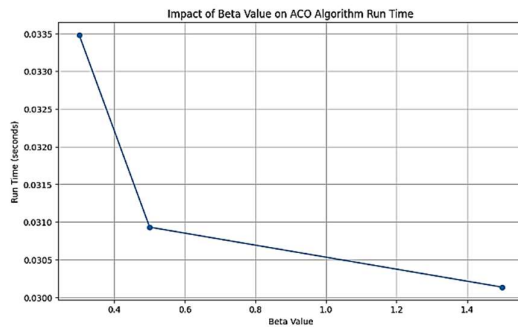
(Figure-5): Routing of the proposed algorithm (mapping the urban routing problem to the traveling salesman problem)

در شکل (۶) مشاهده می‌شود که هزینه در تکرارهای اولیه به سرعت کاهش می‌یابد و سپس کند می‌شود، این نشان می‌دهد که الگوریتم‌ها در شروع به سرعت در حال یافتن راه

حل‌های بهترند. این در الگوریتم‌های بهینه‌سازی که بهبودهای اولیه قابل توجه‌ترند، رایج است.



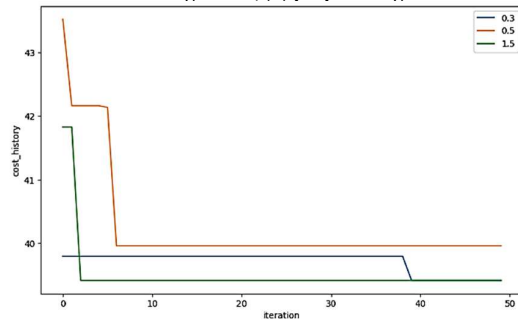
(الف)



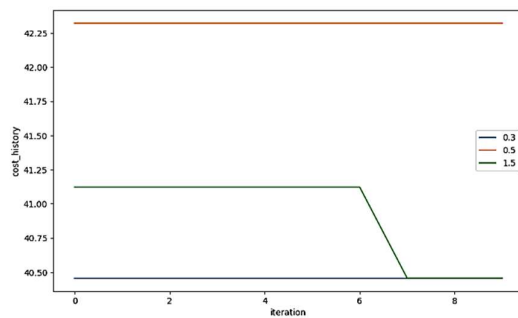
(ب)

(شکل ۷): زمان اجرای الگوریتم در یافتن مسیر بهینه با مقادیر ۰/۳ و ۰/۵ و ۱/۵ برای پارامتر بتا. (الف) الگوریتم سنتی، (ب) الگوریتم پیشنهادی

(Figure-6): Algorithm execution time in finding the optimal route with values of 0.5, 0.3, 1.5 for beta parameter. (a) traditional algorithm, (b) proposed algorithm



(الف)



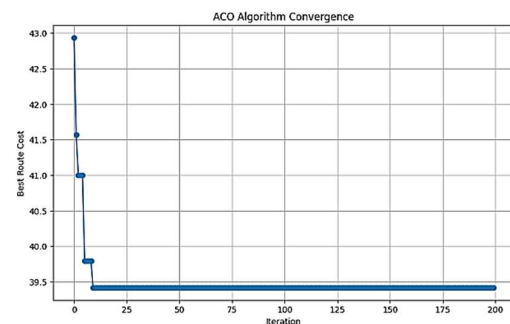
(ب)

(شکل ۸): عملکرد الگوریتم با توجه به میزان حساسیت به پارامتر بتا با مقادیر ۰/۳ و ۰/۵ و ۱/۵. (الف) الگوریتم سنتی، (ب) الگوریتم پیشنهادی

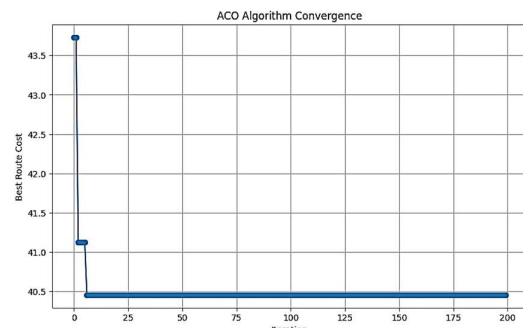
(Figure-8): Algorithm performance with respect to sensitivity to the beta parameter with values of 0.5, 0.3, and 1.5. (a) Traditional algorithm, (b) Proposed algorithm

در شکل (۷) زمان اجرا ابتدا در هر دو الگوریتم کاهش می‌یابد، اما در الگوریتم سنتی کلونی مورچگان با افزایش مقادیر بتا زمان افزایش می‌یابد، اما در الگوریتم پیشنهادی، با توجه به اهمیت اطلاعات اکتشافی (مانند ترافیک، سطح ایمنی و رفتار در رانندگی)، وزن مسیرها به گونه‌ای تعریف شده است که مسیرهای پرترافیک، ناامن یا دارای رانندگی پرخطر، هزینه بالاتری دریافت می‌کنند. با افزایش مقدار بتا، این سامانه به‌طور خودکار زمان سفر را با اولویت‌دهی به مسیرهای کم‌هزینه‌تر (امن و روان) کاهش داده است. این نشان‌دهنده یک رابطه غیر یکنواخت است و بدان معنی است که یک محدوده بهینه از مقادیر بتا وجود دارد که اهمیت اکتشافی را با کارایی محاسباتی متعادل می‌کند. پایین‌ترین نقطه در نمودار نشان‌دهنده مقدار بتا است که منجر به سریع‌ترین زمان اجرا شد.

اجراهای مختلف نشان داد که عملکرد الگوریتم به پارامتر بتا حساس است که مطلوبیت اکتشافی یک مسیر را در برابر دنباله فرومون انباشته‌شده متعادل می‌کند. سازگاری پارامتر بتا به الگوریتم اجازه داد تا تعادلی بین کاوش مسیرهای جدید و بهره‌برداری از مسیرهای خوب شناخته‌شده را حفظ کند، شکل (۸).



(الف)



(ب)

(شکل ۶): سرعت هم‌گرایی یافتن مسیر بهینه در تعداد

تکرارهای ده، پنجاه، صد و دویست. (الف) الگوریتم سنتی،

(ب) الگوریتم پیشنهادی

(Figure-6): Convergence speed of finding the optimal path in the number of iterations 10, 50, 100 and 200. (a) traditional algorithm, (b) proposed algorithm

۵- نتیجه گیری و پیشنهاد

این مقاله با موفقیت نگاشت مسئله مسیریابی شهری به مسئله فروشنده دوره گرد با در نظر گرفتن هزینه برای اطلاعات اکتشافی شامل ترافیک زیاد، امنیت پایین و رانندگی خطرناک (جاده پر خطر) به عنوان مسیرهای بحرانی برای حل مسئله TSP و رسیدگی به مشکل پیچیده مسیریابی ماشین های زرهی حمل پول بانک را پیاده سازی کرد. نتایج نشان می دهد که این الگوریتم با موفقیت مسیریابی را شناسایی کرد که زمان سفر را به کمینه رساند و در عین حال ایمنی را به بیشینه رساند؛ همچنین این الگوریتم یک واکنش قوی به تغییر شرایط ترافیکی و پویایی شهری نشان داد و با در نظر گرفتن هم زمان فاکتورهای ایمنی، ترافیک و شرایط جاده ها و ایجاد توازن بین آن ها، الگوریتم توانست بهترین و ایمن ترین مسیرها را انتخاب کند و مسیرهای عملی و کارآمدی را پیشنهاد دهد.

(جدول ۳): مقایسه روش پیشنهادی با روش سنتی نگاشت

(Table-3): Comparison of the proposed method with the traditional mapping method

معیار	روش پیشنهادی	روش سنتی
طول مسیر	۴۰/۴	۳۹/۴
زمان سفر (دقیقه)	۱۰۵	۱۴۵
ایمنی	٪ ۱۰۰	٪ ۳۳/۳۳
کارایی	بالا	پایین

(جدول ۴): مقایسه روش پیشنهادی با سایر الگوریتم ها

(Table-4): Comparison of the proposed method with other algorithms

معیار	روش پیشنهادی	شبیه سازی تبرید (SA)	بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO)	الگوریتم ژنتیک (GA)
طول مسیر	۴۰/۴	۴۱/۷	۳۹/۷	۴۳/۱
زمان سفر (دقیقه)	۱۰۵	۱۳۳	۱۴۳	۱۵۸
ایمنی	٪ ۱۰۰	٪ ۳۳/۳۳	٪ ۶۶/۶۷	٪ ۳۳/۳۳
کارایی	بالا	پایین	متوسط	پایین
مقاومت در برابر بهینه های محلی	بالا	متوسط	پایین	متوسط
کارایی در مسائل مقیاس بزرگ	متوسط	پایین	متوسط	پایین

بهینه، بلکه در مقاومت در برابر بهینه های محلی و کارایی، عملکرد بهتری دارد.

با توجه به ارزیابی های مقایسه ای انجام شده می توان به طور کلی گفت الگوریتم پیشنهادی در این مقاله با ترکیب عواملی مانند داده های ترافیکی، نرخ امنیت و شرایط رانندگی و جاده، راه حل واقعی تر و جامع تری نسبت به مدل های دیگر ارائه کرد. این رویکرد در ایجاد تعادل بین جنبه های چندوجهی مسیریابی مانند ایمنی، وقت شناسی و هزینه کارآمد بود. توانایی این الگوریتم برای اجتناب از مسیرهایی با ترافیک سنگین، نرخ پایین امنیت و شرایط نامناسب جاده، ایمنی و کاهش هزینه زمان در ماشین های حمل پول را افزایش داد؛ همچنین با ارائه یک روش نوآورانه برای مسیریابی هوشمند خودروهای حمل

همان طور که در جدول (۴) مشاهده می شود، تحلیل مقایسه ای روش های مسیریابی هوشمند نشان می دهد که روش پیشنهادی به عنوان بهترین گزینه در میان سایر روش ها عمل کرده است. این روش با ارائه طول مسیر بهینه و زمان سفر مناسب و ایمنی ٪ ۱۰۰ برتری قابل توجهی دارد. در مقابل، بهینه سازی ازدحام ذرات، هر چند کمی بهتر از سایر روش ها در این معیار است، اما زمان سفر بالاتر و ایمنی ٪ ۶۶/۶۷ آن را در رتبه دوم قرار می دهد. شبیه سازی تبرید و الگوریتم ژنتیک به طور کلی عملکرد ضعیف تری دارند، به ویژه در زمینه ایمنی. شبیه سازی تبرید با ایمنی ٪ ۳۳/۳۳ و الگوریتم ژنتیک با ایمنی ٪ ۳۳/۳۳ نشان دهنده نقاط ضعف این روش ها هستند؛ در نهایت، روش پیشنهادی نه تنها در جستجوی مسیرهای

پول، گامی مهم در جهت بهبود کارایی و امنیت عملیات‌های بانکی برداشته‌است. روش پیشنهادی با نگاشت مسئله مسیریابی شهری به مسئله فروشنده دوره‌گرد و استفاده از الگوریتم ACO و در نظر گرفتن محدودیت‌های واقعی، توانسته‌است مسیرهایی بهینه و ایمن ارائه دهد. این روش در مقایسه با مقالات دیگر، از نظر دقت، زمان اجرا، مصرف انرژی و امنیت عملکرد بهتری دارد؛ همچنین، استفاده از داده‌های ترافیکی واقعی و توانایی تطبیق با تغییرات پویا، اعتبار و کاربردی بودن روش پیشنهادی را افزایش داده‌است. با این حال، هنوز چالش‌هایی مانند سازگاری با تغییرات لحظه‌ای ترافیک و نیاز به منابع محاسباتی بیشتر، وجود دارد که باید در پژوهش‌های آینده مورد توجه قرار گیرند.

برای ارتقا و توسعه راه‌حل پیشنهادی، پیشنهاد می‌شود از داده‌های دقیق‌تر و جامع‌تر مانند اطلاعات مربوط به شرایط آب‌وهوایی و برنامه‌های رویدادهای ویژه (مانند مراسم‌های عمومی، جشن‌ها یا مسابقات ورزشی) در فرایند مسیریابی استفاده شود. این داده‌ها می‌توانند به بهبود دقت و قابلیت اطمینان سامانه کمک کرده و مسیرهای بهینه‌ای را در شرایط مختلف ارائه دهند؛ همچنین، بهینه‌سازی الگوریتم به‌ویژه در زمینه تعادل وزن‌های اکتشافی (مانند ترافیک، امنیت و خطرات جاده‌ای) و افزایش کارایی محاسباتی برای کاربردهای در مقیاس بزرگ، باید به‌عنوان یک اولویت پژوهشی در نظر گرفته شود.

(جدول - ۵): ارزیابی مقایسه‌ای با سایر مقالات مرتبط
(Table-5): Comparative evaluation with other related articles

مقاله	روش‌شناسی	کاربرد	نوآوری	داده‌ها	نتایج
M. Scianna et.al. (2024). [18]	استفاده از یک نسخه اصلاح‌شده از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها (ACO) برای حل مسئله فروشنده دوره‌گرد (TSP)	حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی، به ویژه مسائل مسیریابی	بهبود الگوریتم ACO با افزودن مکانیسم‌های جدید برای افزایش کارایی و دقت.	داده‌های استاندارد TSP	بهبود عملکرد در حل مسائل TSP نسبت به الگوریتم‌های سنتی، بدون در نظر گرفتن نقاط بحرانی و هزینه‌های عملیاتی
B. Bai et.al. (2024). [17]	استفاده از الگوریتم یادگیری تقویتی عمیق (DQN) برای بهینه‌سازی سامانه تشخیص مسیریابی هوشمند (CamTra)	کاهش ترافیک در سامانه‌های تشخیص خودکار ترافیک	ادغام DQN با سامانه تشخیص ترافیک برای پیش‌بینی و کاهش تراکم و مسیریابی بهینه	داده‌های ترافیکی واقعی از سامانه‌های نظارتی	بهبود در مدیریت ترافیک و کاهش زمان سفر، اما به مسئله امنیت نپرداخته‌است
J. Bai et.al. (2024). [16]	توسعه یک الگوریتم مسیریابی هوشمند مبتنی بر یادگیری تقویتی عمیق (DRL)	مسیریابی پویا در شبکه‌های پیچیده	استفاده از DRL برای تطبیق پویا با تغییرات شبکه.	داده‌های شبیه‌سازی‌شده و واقعی از شبکه‌های ارتباطی	بهبود کارایی مسیریابی و کاهش تأخیر در این مسئله بیشترین تأکید بر کوتاه‌ترین مسیر و کاهش زمان است
K. Haseeb et.al. (2023). [15]	طراحی یک پروتکل مسیریابی برای وسایل نقلیه خودران با استفاده از هوش محاسباتی در شبکه‌های G6	مسیریابی خودروهای خودران در شبکه‌های نسل ششم	ادغام هوش محاسباتی با پروتکل‌های مسیریابی برای بهبود امنیت و کارایی خودران.	داده‌های شبیه‌سازی‌شده از شبکه‌های G6 و ترافیک خودروهای خودران.	افزایش قابلیت اطمینان و کاهش زمان پاسخ‌دهی بدون توجه به در نظر گرفتن نقاط بحرانی جرم‌خیز
J. Čelić et.al. (2024). [14]	استفاده از الگوریتم‌های هوشمند برای برنامه‌ریزی مسیر با تمرکز بر یافتن پارکینگ	بهبود تجربه رانندگان در مناطق شهری	ادغام جست‌وجوی پارکینگ با برنامه‌ریزی مسیر	داده‌های موقعیت‌های پارکینگ و ترافیک شهری	کاهش زمان جست‌وجوی پارکینگ و بهبود رضایت رانندگان بدون در نظر گرفتن بحث امنیت در بالابردن کارایی مسئله
الگوریتم پیشنهادی مقاله	نگاشت مسئله مسیریابی شهری به TSP با در نظر گرفتن محدودیت‌های واقعی مانند ترافیک، امنیت و خطرات جاده‌ای	مسیریابی هوشمند خودروهای حمل پول بانک‌ها در محیط‌های شهری و بهینه‌سازی مسیرها با هدف کاهش زمان سفر، افزایش امنیت و کاهش هزینه‌های عملیاتی	ترکیب الگوریتم ACO با عوامل اکتشافی مانند ترافیک، امنیت و خطرات جاده‌ای و استفاده از داده‌های واقعی ترافیک شهری شیراز برای بهبود دقت و کارایی	داده‌های نقشه ترافیک شهری شیراز و موقعیت بانک‌ها و مسیرهای متصل به آن‌ها و داده‌های ترافیکی، امنیتی و خطرات جاده‌ای به‌عنوان وزن‌های اضافی	انتخاب مسیرهایی که از مناطق پرترافیک، جرم‌خیز و خطرناک دوری می‌کنند، کاهش زمان سفر و امنیت افزایش و بهبود کارایی و کاهش هزینه‌های عملیاتی.

- [8] H. Han, J. Tang, and Z. Jing, "Wireless sensor network routing optimization based on improved ant colony algorithm in the Internet of Things," *Heliyon*, vol. 10, no. 1, Jan. 15, 2024.
- [9] O. Sbaiti and K. Housni, "A new routing method based on ant colony optimization in vehicular ad-hoc network," *Statistics, Optimization & Information Computing*, vol. 12, no. 1, pp. 167-181, 2024.
- [10] B. Wu, Z. Zuo, M. Zhou, X. Wan, X. Zhao, and S. Yang, "A Multi-Objective Ant Colony System-Based Approach to Transit Route Network Adjustment," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Jan. 16, 2024.
- [11] R. Ramamoorthy, "An Enhanced Location-Aided Ant Colony Routing for Secure Communication in Vehicular Ad Hoc Networks," *Human-Centric Intelligent Systems*, pp. 1-28, Jan. 10, 2024.
- [12] N. Saeedi and S. Babaie, "A New Hybrid Routing Algorithm based on Genetic Algorithm and Simulated Annealing for Vehicular Ad hoc Networks," *JSDP*, vol. 19, no. 2, p. 5, 2022.
- [13] S. Borumand, A. Hesampour, M. Kuchaki, and M. Rafsanjani, "Intuitionistic fuzzy logic for adaptive energy efficient routing in mobile ad-hoc networks," *JSDP*, vol. 18, no. 1, pp. 12-3, 2021.
- [14] J. Čelić, B. Mandžuka, V. Tomas, and F. Tadić, "Driver-centric urban route planning: Smart search for parking," *Sustainability*, vol. 16, no. 2, p. 856, 2024.
- [15] K. Haseeb, A. Rehman, T. Saba, S. A. Bahaj, H. Wang, and H. Song, "Efficient and trusted autonomous vehicle routing protocol for 6G networks with computational intelligence," *ISA Transactions*, vol. 132, pp. 61-68, 2023.
- [16] J. Bai, J. Sun, Z. Wang, X. Zhao, A. Wen, C. Zhang, and J. Zhang, "An adaptive intelligent routing algorithm based on deep reinforcement learning," *Computer Communications*, vol. 216, pp. 195-208, 2024.
- [17] B. Bai, Y. Li, S. Ding, L. Qiao, Y. Wu, and X. Li, "Research on relieve of traffic congestion based on optimization of DQN algorithm in CamTra recognition system," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 09544070241280671, 2024.
- [18] M. Scianna, "The AddACO: A bio-inspired modified version of the ant colony optimization algorithm to solve travel salesman problems," *Mathematics and Computers in Simulation*, vol. 218, pp. 357-382, 2024.

این بهبودها می‌توانند عملکرد الگوریتم را در محیط‌های پیچیده و پویا تقویت کنند؛ علاوه بر این، آزمایش و انطباق مدل با محیط‌های شهری متنوع (شهرهای بزرگ، متوسط و کوچک) می‌تواند به طور قابل توجهی قابلیت تعمیم‌پذیری و اثربخشی سامانه را افزایش دهد.

این رویکرد تضمین می‌کند که روش پیشنهادی در شرایط مختلف جغرافیایی و ترافیکی عملکرد مطلوبی داشته باشد؛ در نهایت، ادغام روش‌های یادگیری ماشینی (مانند یادگیری تقویتی عمیق یا شبکه‌های عصبی) می‌تواند یک گام تحول‌آفرین در نظر گرفته شود. با استفاده از این روش‌ها، سامانه قادر خواهد بود الگوهای ترافیکی و خطرات احتمالی را پیش‌بینی کرده و فعالانه مسیرها را برنامه‌ریزی کند. این امر نه تنها ایمنی و کارایی سامانه را افزایش می‌دهد؛ بلکه آن را به یک ابزار قدرتمند و انعطاف‌پذیر برای مدیریت ترافیک و ترابری شهری تبدیل می‌کند.

6-References

۶-مراجع

- [1] M. A. Fadhel, A. M. Duham, A. Saihood, A. Sewify, M. N. Al-Hamadani, A. S. Albahri, ... & Y. Gu, "Comprehensive systematic review of information fusion methods in smart cities and urban environments," *Information Fusion*, vol. 102317, 2024.
- [2] D. N. Dwivedi, "The Use of Artificial Intelligence in Supply Chain Management and Logistics," in *Leveraging AI and Emotional Intelligence in Contemporary Business Organizations*, IGI Global, pp. 306-313, 2024.
- [3] M. A. Mustafayev, "Implementation of shortest route algorithms in Smart City," Doctoral dissertation, 2024.
- [4] Shahin, P. Hosteins, P. Pellegrini, P. O. Vandanjon, and L. Quadrioglio, "A survey of Flex-Route Transit problem and its link with Vehicle Routing Problem," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 158, p. 104437, 2024.
- [5] R. Nureddin, I. Koc, and S. A. Uymaz, "A Novel Crossover based Discrete Artificial Algae Algorithm for Solving Traveling Salesman Problem," *International Arab Journal of Information Technology*, 2024.
- [6] T. H. Nguyen and J. J. Jung, "ACO-based traffic routing method with automated negotiation for connected vehicles," *Complex & Intelligent Systems*, vol. 9, no. 1, pp. 625-636, Feb. 2023.
- [7] T. H. Nguyen and J. J. Jung, "Ant colony optimization-based traffic routing with intersection negotiation for connected vehicles," *Applied Soft Computing*, vol. 112, p. 107828, Nov. 1, 2021.



سمیرا اسدزاده دانشجوی دکترای

تخصصی مهندسی کامپیوتر در

دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز و

زمینه‌های پژوهشی ایشان هوش

مصنوعی، یادگیری ماشین، شبکه

عصبی و یادگیری عمیق، بینایی ماشین، پردازش تصاویر

پزشکی، داده‌کاوی و رایانش تکاملی است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

s.asadzadeh@iaushiraz.ac.ir



الهام پروین نیا دانش‌آموخته

دکترای تخصصی مهندسی کامپیوتر

از دانشگاه شیراز و دانشیار گروه

مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد

اسلامی واحد شیراز است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

Elham.parvinnia@iau.ac.ir