مسیریابی هوشمند ماشین حمل پول در شبکهٔ 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 توسعهٔ شهری، نیاز به سامانه‌های حمل‌ونقل امن و بهینه در حوزهٔ ترابری شهری بیش از پیش احساس می‌شود. یکی از چالش‌های مهم در این زمینه، مسیریابی ماشین‌های حمل پول بانک‌ها به‌دلیل 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 ارائهٔ روشی نوآورانه برای مسیریابی هوشمند ماشین‌های حمل پول، مسئلهٔ مسیریابی شهری را به مسئلهٔ فروشندهٔ 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 به‌عنوان وزن‌های اضافی درنظر گرفته می‌شوند. داده‌های مورد استفاده شامل نقشهٔ 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 نه‌تنها 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 کرده‌است. این رویکرد در ایجاد تعادل بین جنبه‌های چندوجهی مسیریابی مانند ایمنی، وقت‌شناسی و هزینه کارآمد بوده‌است. 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 داده‌است؛ همچنین، روش پیشنهادی با نگاشت مسئلهٔ مسیریابی شهری به مسئلهٔ فروشندهٔ 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 کاربردی‌بودن روش پیشنهادی را افزایش داده‌است. در کل، این مقاله با ارائهٔ 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، مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد، بهینه‌سازی مسیر، امنیت ترافیک.

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

Samira Asadzadeh[1], Elham Parvinnia[2*]

PhD Student, Department of Computer Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran[1]

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

* نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

* Corresponding author

• تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۳/۱/۱۵ • تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵ • تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۳/۲۸ • نوع مطالعه: کاربردی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-09]

[DOI: 10.61186/jsdp.22.1.53]

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.

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 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

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-09]

[DOI: 10.61186/jsdp.22.1.53]

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 سامانهٔ مسیریابی هوشمند یک الگوریتم مسیریابی وجود دارد که با توجه به استراتژی تعیین‌شده و مشخص‌کردن 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[1] به اختصار ACO که در سال ۱۹۹۲ توسط مارکو دوریگو [2] مطرح شد، یکی از بارزترین نمونه‌ها برای روش‌های هوش جمعی[3] است. این الگوریتم از روی رفتار جمعی مورچه‌ها الهام‌گرفته 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 مادهٔ شیمیایی فرومون[4] 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[5] 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 پیداکردن کوتاه‌ترین مسیر خواهد شد[۵]؛ ازاین‌رو در پژوهش‌های بسیاری، از این الگوریتم به‌طور گسترده‌ای در حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی مانند مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد (TSP) استفاده شده‌است؛ بااین‌حال، مسیریابی شهری تنها به یافتن کوتاه‌ترین مسیر محدود نمی‌شود؛ بلکه باید عوامل واقعی مانند ترافیک سنگین، امنیت پایین و خطرات جاده‌ای نیز درنظر 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 درنظر بگیرند و مسیرهایی بهینه و ایمن‌تر ارائه دهند.

با توجه به پژوهش‌های صورت‌گرفته در مسیریابی هوشمند در ترافیک شهری علی رغم مزایا و کاربردهایی که دارند چالش‌هایی از قبیل درنظرنگرفتن 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 پیداکردن کوتاه‌ترین مسیر است؛ درصورتی‌که یکی از مهم‌ترین اهداف از پیداکردن کوتاه‌ترین مسیر، بهینگی در زمان و حفظ امنیت است.

در این مقاله، هدف اولیه ارائهٔ روشی نوآورانه برای مسیریابی هوشمند خودروهای حمل پول است که در آن مسئلهٔ مسیریابی شهری به مسئلهٔ فروشندهٔ 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 درنظر 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 نقشهٔ ترافیکی شهر شیراز واقع در استان فارس است. این داده‌ها شامل مختصات جغرافیایی بانک‌های مختلف و مسیرهای بین آن‌هاست. نقاط بحرانی مانند مناطق پرترافیک، مناطق با امنیت پایین و مسیرهای خطرناک شناسایی و به‌عنوان وزن‌های اضافی درنظر گرفته شده‌اند. مناطق پرترافیک 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

[1] Ant Colony Optimization
[2] Marco Dorigo
[3] SWARM Intelligence
[4] Pheromone
[5] Statistical

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-09]
[DOI: 10.61186/jsdp.22.1.53]

مشاهدات خود استفاده کردیم؛ در این راستا، وجود بیشترین تصادفات، اتباع خارجی و تجمع معتادین در برخی مناطق و نظرات عمومی افراد محلی را به‌عنوان نشانه‌هایی از مشکلات اجتماعی و رانندگی‌های خطرناک درنظر گرفتیم. گفتنی است که این ارزیابی‌ها به‌صورت 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 پرترافیک، جرم‌خیز و خطرناک دوری کرده و در عین حال، زمان سفر را بهینه‌سازی کند. این روش نه‌تنها امنیت و کارایی را افزایش می‌دهد؛ بلکه به کاهش هزینه‌های عملیاتی نیز کمک می‌کند.

درکل، هدف اصلی این مقاله، ارائهٔ 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 به‌صورت زیر ارائه می‌شود:

در بخش دوم پیشینهٔ پژوهش، مروری بر پژوهش‌های پیشین در حوزهٔ مسیریابی هوشمند و کاربرد الگوریتم‌های بهینه‌سازی در حل مسائل شهری انجام می‌شود. در بخش سوم روش پژوهش، روش پیشنهادی شامل نگاشت مسئلهٔ مسیریابی شهری به TSP و استفاده از الگوریتم ACO با درنظرگرفتن 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- پیشینهٔ پژوهش

در حوزهٔ مسیریابی ترافیک، سامانه‌های کنترل ترافیک، بیشتر به‌صورت متمرکز عمل می‌کنند. در این سامانه‌ها، تمام داده‌های جمع‌آوری‌شده از ترافیک شهری تحلیل می‌شوند تا تصمیم‌گیری‌های مربوط به مسیریابی ماشین‌ها صورت گیرد؛ بااین‌حال، این سامانه‌ها با مشکلاتی مواجه‌اند؛ نخست این‌که، پیچیدگی محاسباتی آن‌ها بالاست و انجام تصمیم‌گیری به‌صورت زمان واقعی دشوار است. دوم این‌که، 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 مقالهٔ [۶] یک سامانهٔ مسیریابی ترافیکی غیرمتمرکز پیشنهاد شده‌است. این سامانه بر اساس الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان با استفاده از یک مدل فرومونی جدید و یک روش مذاکرهٔ خودکار در محیط خودروهای متصل[1] 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 مذاکرهٔ مبتنی بر یادگیری جمعی را برای توزیع جریان‌های ترافیکی در سراسر شبکه‌های جاده‌ای انجام می‌دهند و ازدحام ترافیک را کاهش می‌دهند. ارزیابی عملکرد سامانهٔ پیشنهادی، از طریق شبیه‌سازی‌های گسترده بر اساس شبیه‌سازی تحرک شهری، انجام شده‌است. نتایج نشان می‌دهند که سامانهٔ پیشنهادی قادر است سفر و مصرف سوخت را نسبت به سامانه‌های موجود کاهش قابل توجهی دهد.

در مقالهٔ [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، به‌عنوان یک مورچه مدل شده‌است و فرومون را در مسیر خود جا می‌گذارد. حس‌گرهای جاده اطلاعات فرومونی را جمع‌آوری کرده و به CVورودی 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 مذاکرهٔ تقاطع غیرمتمرکزی پیشنهاد شده‌است 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؛ درنهایت، شبیه‌سازی‌های گسترده انجام شده‌است که نشان می‌دهد سامانهٔ پیشنهادی در مقایسه با سامانه‌های مدیریت ترافیک سنتی، بهبود قابل توجهی در میانگین زمان سفر و تعداد خودروهای در حال حرکت دارد.

در مقالهٔ [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 شبکهٔ حس‌گر بی‌سیم، می‌توان از الگوریتم کلونی مورچه‌ها

[1] Connected Vehicles

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-09]

[DOI: 10.61186/jsdp.22.1.53]

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 گره را می‌توان به‌عنوان گره‌های مرجع و گره‌های لنگر، همراه با تابع هدف بهینه‌سازی مسیریابی شبکهٔ حس‌گر بی‌سیم و بهبود الگوریتم کلونی مورچه‌ها برای حل مسیر بهینه استفاده کرد و شبکهٔ 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 گره‌های مرده و توان عملیاتی شبکه عملکرد خوبی دارد. این نتایج بهینه‌سازی پیامدهای مثبتی برای توسعهٔ پایدار و کاربرد عملی اینترنت اشیا دارد که می‌تواند توسعهٔ اقتصاد دیجیتال را بهبود بخشد و ساخت شهرهای هوشمند را افزایش دهد. در مقالهٔ [۹]، بیان شده‌است که شبکه‌های همکاری خودرویی (VANETs)با چالش‌های قابل‌توجهی در ارائهٔ 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 1(V2X) پشتیبانی می‌کنند. در این مقالهٔ پژوهشی، یک روش هوشمند برای بهبود کیفیت خدمات با بهینه‌سازی انتخاب مسیر بین خودروها پیشنهاد می‌شود که هدف آن کاهش هزینهٔ شبکه و افزایش کارایی مسیریابی است.

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

در مقالهٔ [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 شبکهٔ 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؛ به‌علاوه، یک هدف جدید به نام درجهٔ تنظیم معرفی می‌شود که اختلاف بین خطوط تنظیم‌شده و خطوط اصلی را سنجیده و محاسبه می‌کند. روش MACSA روی مسائل بنچمارک و یک مسئلهٔ 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 شبکهٔ 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.

مقالهٔ [۱۱]، در مورد تشخیص چهره در شبکه‌های ad hoc وسایل نقلیه (VANETs) است. VANETs نیازمند ارتباط امن و قابل اعتماد و همچنین نیازمند انتقال دادهٔ 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: مرحلهٔ نخست مدیریت کلید مبتنی بر مکان (LAKM) و مرحلهٔ 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 دادهٔ بی‌درز استفاده می‌شود. شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که ELAACRپیشنهاد عملکرد بهتری نسبت به روش‌های موجود دارد.

در مقالهٔ [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 به‌عنوان خودروهای دروازهٔ بین خوشه‌های همسایه، یک زنجیرهٔ 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 ۱۸/۴٪، تعداد خوشهٔ 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 اثبات‌کنندهٔ سرعت هم‌گرایی و پایداری بالای آن است.

در مقالهٔ [۱۳]، برای ارائهٔ یک پروتکل مسیریابی انرژی آگاه از یک سامانهٔ منطق فازی شهودی برای تنظیم پارامتر تمایل گره در پروتکل مسیریابی AODV کمک گرفته شده‌است. تصمیم برای شرکت‌کردن هر گره متحرک در مسیریابی به‌وسیلهٔ سامانهٔ منطق فازی شهودی با مقدار انرژی باقی‌مانده و مقدار انرژی مصرفی گرفته می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده نشان

[1] Vehicle-to-Everything

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-09]

[DOI: 10.61186/jsdp.22.1.53]

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

در مقالهٔ [۱۴]، یک مدل برنامه‌ریزی مسیر شهری با تمرکز بر نیازهای راننده توسعه داده شده‌است. هدف این پژوهش توسعهٔ یک سامانهٔ 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 جمع‌آوری‌شده از حس‌گرها و سامانه‌های هوشمند برای بهبود دقت و کارایی سامانهٔ 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، توسعهٔ سامانه‌های مسیریابی و جست‌وجوی هوشمند می‌تواند به بهبود کارایی مسیریابی، کاهش آلایندگی شهرها با کاهش ترافیک در شهرها کمک کند و بهره‌وری فضاهای پارکینگ را بهینه سازد و به بهبود کیفیت زندگی شهری کمک کند.

در مقالهٔ [۱۵]، بر ارائهٔ یک پروتکل مسیریابی تأکید دارد که بتواند هم‌زمان به کارایی و اعتمادپذیری شرایط پویا پاسخ دهد. هدف اصلی این مقاله توسعهٔ یک پروتکل مسیریابی است که بتواند با استفاده از تکنیک‌های هوش محاسباتی، بهینه‌سازی عملکرد وسایل نقلیهٔ خودران را در شبکه‌های تلفن همراه با فناوری‌های نسل ششم G۶ محقق سازد. به‌ویژه، تمرکز بر افزایش سرعت انتقال داده، کاهش تأخیر و ارائهٔ 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 نشان‌دهندهٔ 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 ارائهٔ لایه‌های امنیتی جدید، به اعتمادپذیری ارتباطات در شبکه‌های G۶ کمک کند؛ همچنین مشهود است که استفاده از هوش محاسباتی در بهبود عملکرد کلی سامانه تأثیر مستقیمی دارد.

در مقالهٔ [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 مسئلهٔ مسیریابی به‌دقت مدل‌سازی و چهارچوب یادگیری تقویتی چندعاملی برای مسیریابی طراحی می‌شود. تابع پاداش این الگوریتم به‌گونه‌ای تنظیم شده‌است که عوامل متعددی را درنظر 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 مقالهٔ [۱۷]، به بررسی یک سامانهٔ 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 تجزیه‌وتحلیل 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 مقالهٔ [۱۸]، به بررسی بهبود الگوریتم بهینه‌سازی کلنی مورچگان (ACO) به‌عنوان راه‌حلی برای مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد (TSP) می‌پردازد. این مقاله به‌طور خاص بررسی می‌کند که چگونه تغییرات در الگوریتم سنتی ACO می‌تواند به

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-09]

[DOI: 10.61186/jsdp.22.1.53]

بهبود کارایی و دقت در حل مسائل پیچیدهٔ بهینه‌سازی کمک کند. در این پژوهش، یک نسخهٔ اصلاح‌شده از الگوریتم ACO تحت عنوان AddACO ارائه می‌شود؛ این الگوریتم با استفاده از روش‌های الهام‌گرفته از طبیعت، به بهینه‌سازی مسیر برای فروشندهٔ 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 هزینهٔ 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، پیشینهٔ پژوهش در حوزهٔ 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 VANETوIoT، مسیریابی با درنظرگرفتن 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.

۲-۱-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؛ بااین‌حال، 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. درصورت 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 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 مسئلهٔ فروشندهٔ 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.

۲-۳- مسیریابی در شبکه‌های VANET وIoT

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.

۲-۴-مسیریابی با درنظرگرفتن محدودیت‌های واقعی

ترافیک سنگین و زمان‌بندی: برخی از پژوهش‌های اخیر بر روی مسیریابی با درنظرگرفتن 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.

۲-۵-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 درنظر گرفته می‌شوند.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-09]

[DOI: 10.61186/jsdp.22.1.53]

۲-۶-خلأهای 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 نقشهٔ 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 پرترافیک، مناطق با امنیت پایین و مسیرهای خطرناک شناسایی و به‌عنوان وزن‌های اضافی درنظر گرفته شده‌اند. این نقاط بحرانی بر اساس داده‌های واقعی ترافیک، نرخ جرم و شرایط جاده‌ای تعیین شده‌اند. فاصلهٔ بین بانک‌ها با استفاده از فرمول Haversine محاسبه شده‌است. این فرمول بر اساس طول و عرض جغرافیایی هر نقطه، فاصلهٔ مستقیم بین دو نقطه روی سطح کرهٔ زمین را محاسبه می‌کند؛ سپس نقشهٔ 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 ترافیک، 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 بهینهٔ سراسری می‌شود.

در روش (ACO)، مورچه‌های مصنوعی به وسیلهٔ حرکت بر روی نمودار مسئله و با باقی‌گذاشتن نشانه‌هایی بر روی نمودار، همچون مورچه‌های واقعی که در مسیر حرکت خود یک مادهٔ 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 مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد(TSP) است.

در روش پیشنهادی، هدف نگاشت مسئلهٔ مسیریابی شهری به مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد، با اضافه‌کردن اطلاعات اکتشافی و سعی بر حل مسئلهٔ مسیریابی هوشمند برای ماشین‌های حمل پول در شبکهٔ ترافیک شهری شیراز با هدف پیداکردن کوتاه‌ترین، مؤثرترین، امن‌ترین و کم‌ترافیک‌ترین مسیر همیلتونی روی گراف درون‌شهری است؛ هدف از مسئلهٔ 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 درنظرگرفتن ترافیک، امنیت و خطرات) کمینه شود.

مسئلهٔ فروشندهٔ 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 مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد $(n-1)!/2$ است؛ یعنی برای هشت گره موجود در مسئلهٔ این مقاله باید از بین $(8-1)!/2$ حالت دنبال یک جواب بگردیم؛ بنابراین بررسی تمامی این جای‌گشت‌ها حتی برای گره‌های کمتر نیز مشکل خواهد بود؛ به همین خاطر مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد جزو مسائل NP-Hard است.

نظریهٔ گراف مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد به‌صورت زیر شرح داده می‌شود:

گراف $G=(V,E)$ داده شده‌است. V مجموعهٔ رئوس و E مجموعهٔ لبه‌ها است. D ماتریس فاصله است که فاصلهٔ 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 ترافیک)، 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 ترافیک، نرخ جرم و رانندگی ناایمن در هر مسیر است فرومون‌ریزی می‌کنند، فرمول (۱).

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-09]

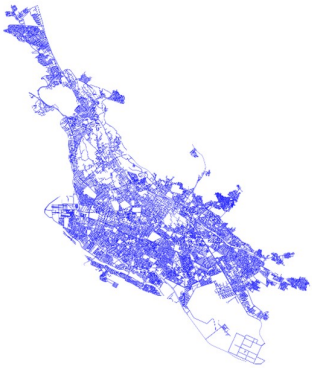
[DOI: 10.61186/jsdp.22.1.53]

(۱)

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

در این بخش، نحوهٔ نگاشت مسئلهٔ مسیریابی شهری به مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد (TSP) توضیح داده می‌شود. محدودیت‌های واقعی مانند ترافیک سنگین، امنیت پایین و رانندگی خطرناک به‌عنوان وزن‌های اضافی درنظر گرفته می‌شوند. فرمول (۲) نشان‌دهندهٔ تبدیل این محدودیت‌ها به پارامترهای مسئلهٔ 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، فرومون‌ریزی کمتری انجام می‌دهد. با این تبادل اطلاعات، مورچه‌های دیگر، به‌طور 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): نقشهٔ ترافیکی شهر شیراز (بانک ملی مرکزی با نشانگر قرمز و بانک‌های هدف با نشانگر آبی) (ب): نقشهٔ 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.

فرومون‌ریزی با محاسبهٔ وزن اطلاعات اکتشافی به‌روزرسانی‌شده:

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 فرومون‌ریزی بر اساس اطلاعات اکتشافی است.

محاسبهٔ به‌روزرسانی فرومون با اطلاعات اکتشافی به‌روزشده:

هدف مرحلهٔ به‌روزرسانی 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 به‌روزشده بر روی مسیر است.

(۲)

$$\tau_{ij}(t+1) = 1 - \rho \times \tau_{ij} + \sum_{k=0}^{k\ total\ ants} \Delta\tau_{ij} \times (1 - w_0 \times distance_{ij})$$

$$\tau_{ij}(t+1) = 1 - \rho \times \tau_{ij} + \sum_{k=0}^{k\ total\ ants} \Delta\tau_{ij} \times (1 - w_1 \times traffic\ volume_{ij})$$

$$\tau_{ij}(t+1) = 1 - \rho \times \tau_{ij} + \sum_{k=0}^{k\ total\ ants} \Delta\tau_{ij} \times (1 - w_2 \times Security\ rate_{ij})$$

$$\tau_{ij}(t+1) = 1 - \rho \times \tau_{ij} + \sum_{k=0}^{k\ total\ ants} \Delta\tau_{ij} \times (1 - w_3 \times unsafe\ to\ drive\ rate_{ij})$$

محاسبهٔ احتمال انتخاب مسیر توسط مورچه‌ها:

$P_{i,j}$ 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 آلفا α و بتا β وجود دارد که کاربر به الگوریتم به‌عنوان مقدار اولیه می‌دهد. اگر پارامتر آلفا بیشتر از بتا باشد، یک مورچه بیشتر به مقدار فرومون‌ها یعنی پیام‌های

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-09]

[DOI: 10.61186/jsdp.22.1.53]

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

$$P_{i,j} = \frac{(\tau_{ij})^{\alpha}\,(\eta_{i,j})^{\beta}}{\sum(\tau_{ij})^{\alpha}\,(\eta_{i,j})^{\beta}} \quad (۳)$$

محاسبهٔ زمان بهینه در مسیریابی هوشمند با درنظرگرفتن نقاط بحرانی:

زمان بهینه با درنظرگرفتن نقاط بحرانی به‌صورت ترکیبی از طول مسیر و زمان اضافی ناشی از ورود به نقاط بحرانی محاسبه می‌شود، فرمول (۴).

$$critical^{T} + L = Total^{T} \quad (۴)$$

پارامترهای مربوط به محاسبهٔ زمان بهینه:

زمان اضافی برای ورود به نقطهٔ بحرانی:

$critical^{T} = 10$

طول مسیر: L

زمان کل: $Total^{T}$

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

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

$$\text{Security} = 100 \times \left(\frac{x}{c}\right) - \%100 \quad (۵)$$

پارامترهای مربوط به محاسبهٔ درصد میزان امنیت:

امنیت: Security

تعداد نقاط بحرانی عبور داده شده: x

تعداد نقاط بحرانی: c

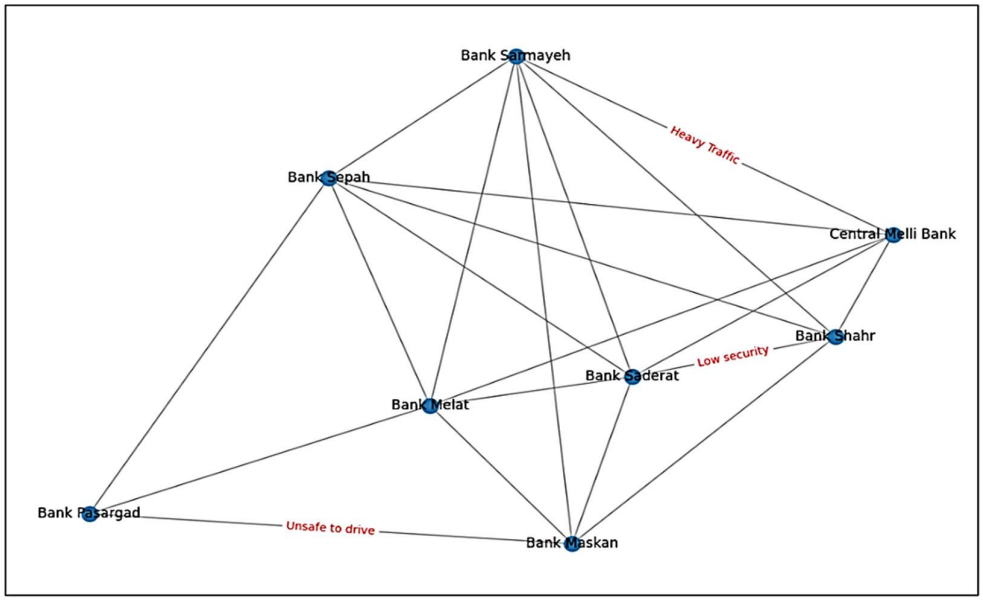
یافتن گره‌ها و لبه‌ها:

تبدیل نقشه به نمایشی 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 به‌شکلی ساده‌تر و قابل مدل‌سازی در نظر بگیریم. به جای بررسی تمام جزئیات نقشه، به‌سادگی 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، پیداکردن کوتاه‌ترین مسیرها، یا حل سایر مسائل محاسباتی مربوط به نقشه کمک کند.

قابلیت توسعه: با تبدیل نقشه به نمایش گرافی می‌توانیم به‌راحتی 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 توسعهٔ مسائل مربوط به نقشه ایجاد کند.



(شکل-۲): نمایش گرافی، گره‌ها و مسیرها و مسیرهای بحرانی بانک ملی مرکزی (نقطهٔ 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

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-09]

[DOI: 10.61186/jsdp.22.1.53]

تعریف گره‌ها: هر نقطه یا موقعیت مهم در نقشه می‌تواند به‌عنوان یک گره در نمایش گرافی درنظر 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 درنظر گرفته شده‌اند.

تعریف لبه‌ها: هر ارتباط بین دو گره مجاور می‌تواند به‌عنوان یک لبه در نمایش گرافی درنظر 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 برچسب 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 درنظر 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 درنظر گرفته شده‌است.

یال با برچسب Low security شامل مسیری است که دارای امنیت پایین است. در اینجا، مسیر خیابان قاآنی جنوبی (بانک صادرات) به خیابان حضرتی (بانک شهر) و بالعکس به‌عنوان یک مسیر با امنیت پایین درنظر 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 موتورها و وجود خیابان‌های یک‌طرفه مسیری ناامن برای ماشین حمل پول و مقدار وزنی بالا به‌عنوان هزینه برای این مسیر درنظر گرفته شده‌است.

یال با برچسب Unsafet to drive شامل مسیری است که به‌دلیل رانندگی پرخطر جاده‌ای، ناایمن است؛ به‌دلیل وجود بزرگراه و محل طلاقی 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 درنظر گرفته شده‌است.

با مشخص‌کردن اطلاعات اکتشافی برای الگوریتم و درنظرگرفتن مقدار هزینه برای هر یال بر اساس این اطلاعات، احتمال انتخاب مسیرهای با هزینهٔ 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. هزینهٔ بالا، منعکس‌کنندهٔ 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؛ درنتیجه 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 درنظرگرفتن 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 بیشینهٔ 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 پیداشده و زمان مصرفی و میزان امنیت را بازگردانید.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-09]

[DOI: 10.61186/jsdp.22.1.53]

(الگوریتم-۱): فرایند الگوریتم پیشنهادی. (نگاشت مسئله مسیریابی شهری به مسئله فروشنده دوره‌گرد)

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

Input: ProblemSize, TrafficVolume, SecurityRate, UnsafedriveRate, $Population_{size}$, *m, p. a,* β , c , $critical^T$
Output: P_{best}
P_{best} ← CreateHeuristicSolution (ProblemSize, TrafficVolume, SecurityRate, UnsafedriveRate);
$Pbest_{cost}$ ← Cost (S_h):
Pheromone ← InitializePheromone ($Pbest_{cost}$);
while StopCondition() **do**
  Candidates ← Ø;
  for i = 1 **to** m **do**
    S_i ← ProbabilisticStepwiseConstruction (Pheromone, ProblemSize, a, β);
    $S_{i\ cost}$ ← Cost (S_i);
    if $S_{i\ cost} \leq Pbest_{cost}$ **then**
      $Pbest_{cost}$ ← $S_{i\ cost}$;
      $Pbest_{cost}$ ← S_i ;
      $Time$ ← $Total^T$
      $Security$ ← $CalculateSecurity$
    end
    Candidates ← S_i ;
  end
  DecayPheromone (Pheromone, p);
  foreach S_i ∈ Candidates **do**
    UpdatePheromone (Pheromone, S_i , $S_{i\ cost}$);
  end
end
return *Pbest, Time, Security*

۴- تحلیل و ارزیابی

داده‌های مورد استفاده در این مقاله داده‌های نقشهٔ شهری شیراز واقع در استان فارس شامل هشت بانک و مسیرهای منتهی به آن‌هاست. در جدول (۱) فاصلهٔ بین بانک‌ها با روش Haversine محاسبه و نشان داده می‌شود. Haversine یک روش محاسبهٔ فاصله بین دو نقطهٔ روی کره زمین است که بر اساس قوانین هندسهٔ کره‌ای انجام می‌شود؛ به طور کلی، فرمول هواوسین (۴) برای محاسبهٔ فاصلهٔ بین دو نقطه با استفاده از طول و عرض جغرافیایی هر نقطه استفاده می‌کند. این فرمول بر اساس محاسبهٔ قوس کوچک بین دو نقطه بر روی سطح کره زمین است؛ به طوری که این قوس معادل فاصلهٔ 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:

$d_{Haversine}$: نشان‌دهندهٔ فاصلهٔ بین دو نقطه است.

r: نشان‌دهندهٔ شعاع زمین است (بر حسب معمول در این رابطه برابر با متوسط شعاع زمین که در حدود ۶۳۷۱ کیلومتر است، درنظر گرفته می‌شود.

lat_1 lon_1: نشان‌دهندهٔ طول و عرض جغرافیایی نقطهٔ نخست است.

lat_2 وlon_2: نشان‌دهندهٔ طول و عرض جغرافیایی نقطهٔ دوم است.

sin cos: توابع سینوس و کسینوس هستند.

arcsin: تابع آرک سینوس است.

هدف، نگاشت مسئلهٔ مسیریابی شهری به مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد با اضافه‌کردن اطلاعات اکتشافی به‌عنوان نقاط بحرانی و یافتن مؤثرترین مسیر با دورزدن مسیرهای بحرانی برای ماشین حمل پول بانک است.

در ابتدا الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان سنتی بر روی گراف شهری پیاده‌سازی شد؛ سپس الگوریتم پیشنهادی که نگاشت مسئلهٔ مسیریابی شهری به مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد است با درنظرگرفتن اطلاعات اکتشافی بیشتر شامل Heavy Traffic و Low security و Unsafet to drive پیاده‌سازی می‌شود.

الگوریتم‌ها با هشت گره و سی مورچهٔ 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 مسلهٔ TSP می‌پردازند، مسیریابی انجام می‌شود و الگوریتم‌ها مؤثرترین دور همیلتونی (مسیر) با پارامترهای بهینه جدول (۲) را می‌یابد.

با توجه به شکل (۴) دیده می‌شود که الگوریتم سنتی ACO کوتاه‌ترین مسیر را یافته‌است که از بانک ملی مرکزی شروع می‌شود ← بانک سرمایه ← بانک سپه ← بانک پاسارگاد ← بانک ملت ← بانک مسکن ← بانک صادرات ← بانک شهر ← و درنهایت به بانک ملی مرکزی برمی‌گردد، اما از مسیرهایی عبور می‌کند که طبق تعریف مسیرهای بحرانی و پرترافیک و دارای هزینه بالایی هستند و در دنیای واقعی این مسیرها باعث اختلال در حرکت و قرارگرفتن در موقعیت‌های ناایمن و افزایش زمان سفر می‌شوند.

در شکل (۵) الگوریتم پیشنهادی که نگاشت مسئلهٔ مسیریابی شهری به مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد است، با درنظرگرفتن هزینهٔ بیشتر برای اطلاعات اکتشافی Heavy Traffic و Low security و Unsafet to drive به الگوریتم اجازه می‌دهیم در طول فرایند بهینه‌سازی، رفتار خود را اصلاح کند و اطمینان حاصل می‌کنیم که در طیف وسیعی از سناریوها قوی و کارآمد باقی می‌ماند و به حل مسئلهٔ TSP و یافتن مؤثرترین مسیر با دورزدن مسیرهای بحرانی و پرترافیک می‌پردازد. مسیر بهینه از بانک ملی مرکزی شروع می‌شود ← بانک صادرات ← بانک مسکن ← بانک ملت ← بانک پاسارگاد ← بانک سپه ← بانک سرمایه ← بانک شهر ← و درنهایت به بانک ملی مرکزی برمی‌گردد؛ اگر چه مسیر نسبت به الگوریتم سنتی مورچگان کمی طولانی‌تر شد، اما زمان سفر کوتاه‌تر و بهینه شد و از قرارگرفتن در مسیرهای پرترافیک و ناایمن صرف‌نظر شده‌است.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-09]
[DOI: 10.61186/jsdp.22.1.53]

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

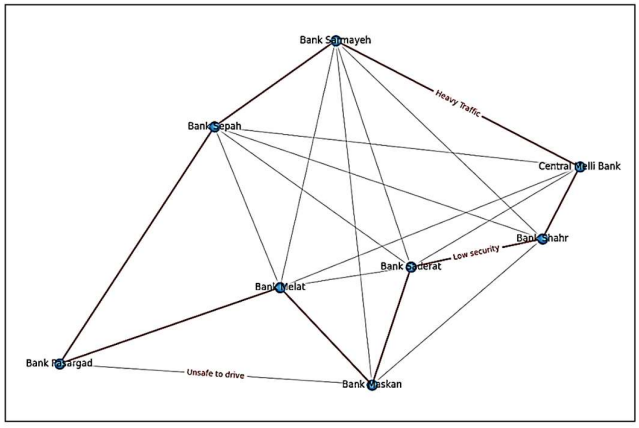
Table-1): The distance of the 8 banks in question with each other according to their actual geographical coordinates

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	۳/۵۱۵	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 مسئلهٔ مسیریابی شهری به مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد و یافتن مؤثرترین مسیر

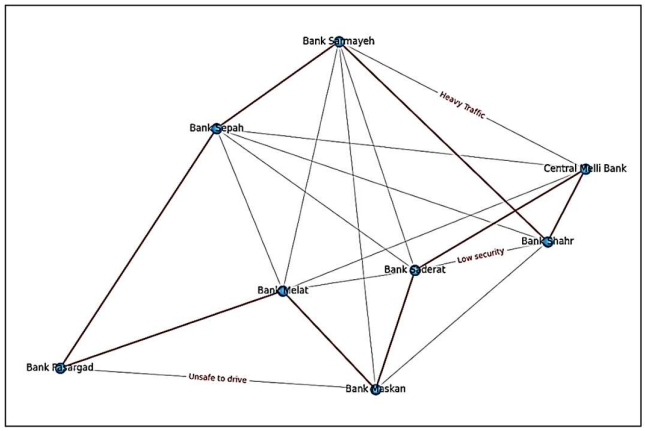
(Table-2): The most optimal parameters in mapping the urban routing problem to the traveling salesman problem and finding the most optimal route

	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 مسئلهٔ مسیریابی شهری به مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد)

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

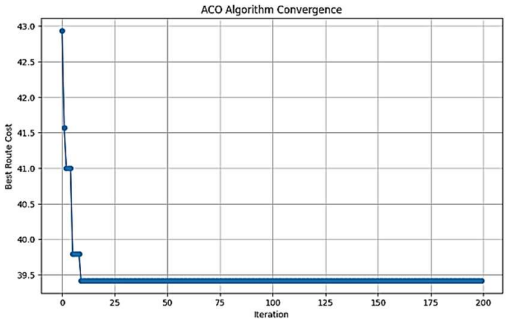
در شکل (۶) مشاهده می‌شود که هزینه در تکرارهای اولیه به‌سرعت کاهش می‌یابد و سپس کند می‌شود، این نشان می‌دهد که الگوریتم‌ها در شروع به‌سرعت در حال یافتن راه حل‌های بهترند. این در الگوریتم‌های بهینه‌سازی که بهبودهای اولیه قابل توجه‌ترند، رایج است.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-09]

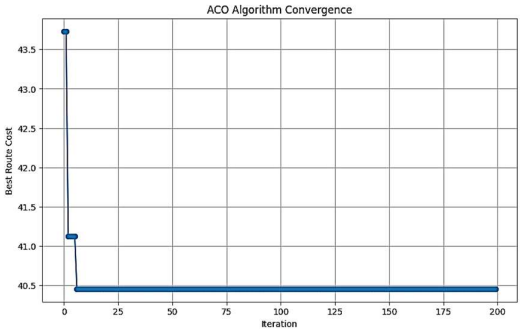
[DOI: 10.61186/jsdp.22.1.53]

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 به‌گونه‌ای 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 نشان‌دهندهٔ یک رابطهٔ غیر یکنواخت است و بدان معنی است که یک محدودهٔ بهینه از مقادیر بتا وجود دارد که اهمیت اکتشافی را با کارایی محاسباتی متعادل می‌کند. پایین‌ترین نقطه در نمودار نشان‌دهندهٔ 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 دنبالهٔ 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).



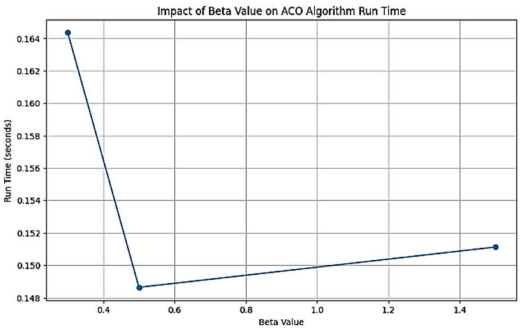
(الف)



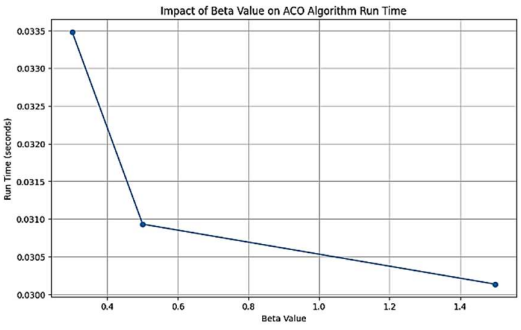
(ب)

(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



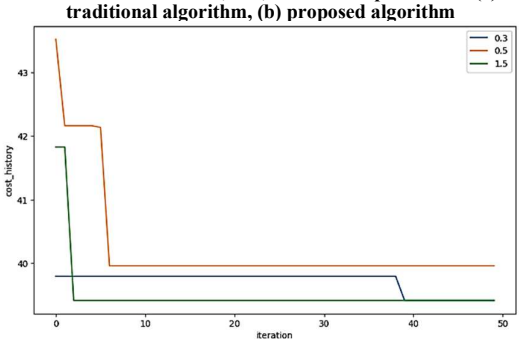
(الف)



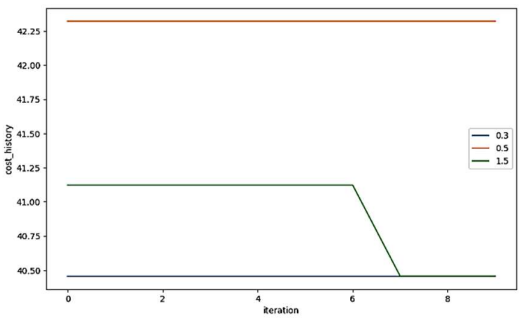
(ب)

(شکل-۷): زمان اجرای الگوریتم در یافتن مسیر بهینه با مقادیر ۰/۵ و ۰/۳ و ۱/۵ برای پارمتر 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 ۰/۵ و ۰/۳ 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

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-09]

[DOI: 10.61186/jsdp.22.1.53]

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

این مقاله با موفقیت نگاشت مسئلهٔ مسیریابی شهری به مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد با درنظرگرفتن هزینه برای اطلاعات اکتشافی شامل ترافیک زیاد، امنیت پایین و رانندگی خطرناک (جادهٔ پر خطر) به‌عنوان مسیرهای بحرانی برای حل مسئلهٔ TSP و رسیدگی به مشکل پیچیدهٔ مسیریابی ماشین‌های زرهی حمل پول بانک را پیاده‌سازی کرد. نتایج نشان می‌دهد که این الگوریتم با موفقیت مسیرهایی 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 درنظرگرفتن هم‌زمان فاکتورهای ایمنی، ترافیک و شرایط جاده‌ها و ایجاد توازن بین آن‌ها، الگوریتم توانست بهترین و ایمن‌ترین مسیرها را انتخاب کند و مسیرهای عملی و کارآمدی را پیشنهاد دهد.

(جدول-۳): مقایسهٔ 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

همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود، در روش‌های سنتی مسئلهٔ مسیریابی شهری بیشتر به‌صورت یک مسئله کوتاه‌ترین مسیر (Shortest Path) یا مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد (TSP) بدون درنظرگرفتن محدودیت‌های واقعی مانند ترافیک، امنیت و خطرات جاده‌ای نگاشت می‌شود. در این روش‌ها، تنها فاصلهٔ بین نقاط (گره‌ها) به‌عنوان وزن درنظر گرفته می‌شود و سایر عوامل مانند ترافیک یا امنیت نادیده گرفته می‌شوند. در روش پیشنهادی، مسئلهٔ مسیریابی شهری با درنظرگرفتن عوامل واقعی مانند ترافیک سنگین، امنیت پایین و رانندگی خطرناک به مسئلهٔ TSP نگاشت می‌شود. این عوامل به‌عنوان وزن‌های اضافی برای نقاط بحرانی در مسئلهٔ TSP درنظر گرفته می‌شوند و باعث می‌شوند که مسیرهای بهینه با درنظرگرفتن شرایط واقعی پیدا شوند. با درنظرگرفتن ترافیک و امنیت، روش پیشنهادی می‌تواند مسیرهایی را پیدا کند که زمان سفر را کاهش داده و ایمنی را افزایش دهند. در روش‌های سنتی ممکن است مسیرهای کوتاه‌تر اما پرترافیک یا ناامن انتخاب شوند. روش پیشنهادی انعطاف‌پذیری بیشتری دارد و می‌تواند به راحتی با تغییر شرایط (مانند افزایش ترافیک یا کاهش امنیت) سازگار شود. در روش‌های سنتی، این انعطاف‌پذیری وجود ندارد

(جدول-۴): مقایسهٔ روش پیشنهادی با سایر الگوریتم‌ها

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

معیار	روش پیشنهادی	شبیه‌سازی تبرید (SA)	بهینه‌سازی 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 بهینه‌های محلی	بالا	متوسط	پایین	متوسط
کارایی در مسائل مقیاس بزرگ	متوسط	پایین	متوسط	پایین

همان‌طور که در جدول (۴) مشاهده می‌شود، تحلیل مقایسه‌ای روش‌های مسیریابی هوشمند نشان می‌دهد که روش پیشنهادی به‌عنوان بهترین گزینه در میان سایر روش‌ها عمل کرده‌است. این روش با ارائهٔ طول مسیر بهینه و زمان سفر مناسب و ایمنی ۱۰۰٪ برتری قابل توجهی دارد. در مقابل، بهینه‌سازی ازدحام ذرات، هر چند کمی بهتر از سایر روش‌ها در این معیار است، اما زمان سفر بالاتر و ایمنی ۶۶/۶۷ ٪ آن را در رتبهٔ دوم قرار می‌دهد. شبیه‌سازی تبرید و الگوریتم ژنتیک به طور کلی عملکرد ضعیف‌تری دارند، به ویژه در زمینهٔ ایمنی. شبیه‌سازی تبرید با ایمنی ۳۳/۳۳٪ و الگوریتم ژنتیک با ایمنی ۳۳/۳۳٪ نشان‌دهندهٔ نقاط ضعف این روش‌ها هستند؛ درنهایت، روش پیشنهادی نه‌تنها در جست‌وجوی مسیرهای بهینه، بلکه در مقاومت در برابر بهینه‌های محلی و کارایی، عملکرد بهتری دارد.

با توجه به ارزیابی‌های مقایسه‌ای انجام‌شده می‌توان به‌طور کلی گفت الگوریتم پیشنهادی در این مقاله با ترکیب عواملی مانند داده‌های ترافیکی، نرخ امنیت و شرایط رانندگی و جاده، راه حل واقعی‌تر و جامع‌تری نسبت به مدل‌های دیگر ارائه کرد. این رویکرد در ایجاد تعادل بین جنبه‌های چندوجهی مسیریابی مانند ایمنی، وقت‌شناسی و هزینه کارآمد بود. توانایی این الگوریتم برای اجتناب از مسیرهایی با ترافیک سنگین، نرخ پایین امنیت و شرایط نامناسب جاده، ایمنی و کاهش هزینهٔ زمان در ماشین‌های حمل پول را افزایش داد؛ همچنین با ارائهٔ یک روش نوآورانه برای مسیریابی هوشمند خودروهای حمل

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-09]

[DOI: 10.61186/jsdp.22.1.53]

پول، گامی مهم در جهت بهبود کارایی و امنیت عملیات‌های بانکی برداشته‌است. روش پیشنهادی با نگاشت مسئلهٔ مسیریابی شهری به مسئلهٔ فروشندهٔ دوره‌گرد و استفاده از الگوریتم ACO و درنظرگرفتن 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 کاربردی‌بودن روش پیشنهادی را افزایش داده‌است.

بااین‌حال، 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 توسعهٔ 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 زمینهٔ تعادل وزن‌های اکتشافی (مانند ترافیک، امنیت و خطرات جاده‌ای) و افزایش کارایی محاسباتی برای کاربردهای در مقیاس بزرگ، باید به‌عنوان یک اولویت پژوهشی درنظر 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 مسئلهٔ فروشندهٔ 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 درنظرگرفتن نقاط بحرانی و هزینه‌های عملیاتی
B. Bai et.al. (2024). [17]	استفاده از الگوریتم یادگیری تقویتی عمیق (DQN) برای بهینه‌سازی سامانهٔ تشخیص ترافیک و مسیریابی هوشمند(CamTra)	کاهش تراکم ترافیک در سامانه‌های تشخیص خودکار ترافیک	ادغام DQN با سامانهٔ 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]	توسعهٔ 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 نقلیهٔ 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	داده‌های شبیه‌سازی‌شده از شبکه‌های G6 و ترافیک خودروهای خودران.	افزایش قابلیت اطمینان و کاهش زمان پاسخ‌دهی بدون توجه به درنظرگرفتن نقاط بحرانی جرم‌خیز
J. Ćelić et.al. (2024). [14]	استفاده از الگوریتم‌های هوشمند برای برنامه‌ریزی مسیر با تمرکز بر یافتن پارکینگ	بهبود تجربهٔ 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 درنظرگرفتن بحث امنیت در بالابردن کارایی مسئله
الگوریتم پیشنهادی مقاله	نگاشت مسئلهٔ مسیریابی شهری به TSP با درنظرگرفتن 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 نقشهٔ 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 افزایش امنیت و بهبود کارایی و کاهش هزینه‌های عملیاتی.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-09]
[DOI: 10.61186/jsdp.22.1.53]

این بهبودها می‌توانند عملکرد الگوریتم را در محیط‌های پیچیده و پویا تقویت کنند؛ علاوه‌بر 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؛ درنهایت، ادغام روش‌های یادگیری ماشینی (مانند یادگیری تقویتی عمیق یا شبکه‌های عصبی) می‌تواند یک گام تحول‌آفرین درنظر 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 نه‌تنها 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. Duhaim, 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. Quadrifoglio, "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.

[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. Sbayti 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. Ćelić, 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.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-09]

[DOI: 10.61186/jsdp.22.1.53]

سمیرا اسدزاده دانشجوی دکترای تخصصی مهندسی کامپیوتر در دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز و زمینه‌های پژوهشی ایشان هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، شبکهٔ عصبی و یادگیری عمیق، بینایی ماشین، پردازش تصاویر پزشکی، داده‌کاوی و رایانش تکاملی است.
نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:
s.asadzadeh@iaushiraz.ac.ir

الهام پروین نیا دانش‌آموختهٔ دکترای تخصصی مهندسی کامپیوتر از دانشگاه شیراز و دانشیار گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز است.
نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:
Elham.parvinnia@iau.ac.ir

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-06-09]

[DOI: 10.61186/jsdp.22.1.53]