



A Global Review of Artificial Intelligence Applications in Metropolitan Transportation

Alireza Noory 

Research fellow, University of Northern British Columbia (UNBC), British Columbia, Canada. Email: noory@unbc.ca

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 13 February 2025
Revised 19 March 2025
Accepted 11 April 2025
Published Online 10 May 2025

Keywords:
Artificial intelligence,
Urban,
Transportation,
Safety,
Traffic strategies.

ABSTRACT

This research paper examines global experiences in applying Artificial Intelligence (AI) to metropolitan transportation systems. It analyzes various AI applications, their impacts on efficiency, sustainability, and safety, and the challenges encountered in their implementation. Given serious challenges such as traffic congestion and pollution in metropolises like Tehran, the use of AI can help improve traffic management and reduce accidents. The paper explores different methods, including data collection and analysis, optimization of traffic lights, and accident prediction. It also addresses challenges such as the need for strong infrastructure, privacy concerns, and cybersecurity issues. Finally, it offers suggestions for future research, including the development of models, integration with emerging technologies, and the design of effective policies to manage social and ethical challenges.

Cite this article: Noory, A. (2025). A Global Review of Artificial Intelligence Applications in Metropolitan Transportation. *Urban Development Policy Making*, 2 (2), 125-139. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.511600.1017>



© Alireza Noory
DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.511600.1017>

Introduction

Rapid urbanization has significantly transformed metropolitan landscapes, giving rise to various challenges in transportation systems. Issues such as traffic congestion, environmental pollution, and safety concerns have become increasingly prevalent, particularly in densely populated cities like Tehran. In Tehran alone, over 500 fatalities occur annually due to traffic-related incidents, highlighting the urgent need for effective traffic management solutions. Traditional methods of traffic control have often proven inadequate in addressing these challenges, necessitating innovative approaches.

Artificial Intelligence (AI) has emerged as a transformative technology in urban transportation, offering the potential to enhance efficiency, sustainability, and safety. This research paper aims to review global experiences in applying AI to metropolitan transportation systems, examining various applications, their impacts, and the challenges encountered in their implementation. By analyzing existing literature and case studies, this paper provides a comprehensive understanding of how AI can reshape urban mobility and address pressing transportation issues.

Methodology

The research explores the applications of AI in metropolitan transportation. The following key topics are discussed:

- Data Collection and Analysis

A critical aspect of AI applications in transportation is the collection and analysis of real-time data. Intelligent sensors and surveillance cameras are increasingly used to gather data on traffic flow, vehicle speeds, and patterns of movement. This research examines various technologies deployed in urban environments, focusing on how these data collection methods contribute to enhanced traffic management. Machine learning algorithms are employed to analyze the collected data, identifying trends and patterns that inform decision-making. The ability to process vast amounts of data allows for more accurate predictions and responsive traffic management strategies.

- Traffic Light Optimization

One of the prominent applications of AI in urban transportation is the optimization of traffic light systems. AI algorithms can analyze real-time traffic conditions to adjust signal timings dynamically. This study investigates the effectiveness of smart traffic light systems in reducing congestion and improving traffic flow. By adapting to varying traffic volumes, these systems can minimize waiting times for vehicles and pedestrians alike. Case studies from cities that have implemented AI-driven traffic light optimization reveal significant reductions in congestion and travel times, demonstrating the potential benefits of this technology.

- Accident Prediction and Prevention

AI's capability to predict accidents before they occur is a significant advancement in urban transportation safety. By analyzing historical accident data and real-time conditions, AI algorithms can identify high-risk areas and times for potential accidents. This research explores various approaches to accident prediction, including the use of predictive analytics and machine learning techniques. The findings suggest that proactive measures, such as adjusting traffic signals or deploying emergency services based on predictions, can significantly enhance road safety. Additionally, the paper discusses the role of AI in developing responsive systems that can react to changing conditions in real-time.

- Challenges in Implementation

Despite the promising applications of AI in metropolitan transportation, several challenges must be addressed for successful implementation. This study identifies key challenges, including the need for robust infrastructure capable of supporting advanced technologies, concerns related to data privacy, and potential cybersecurity threats. The paper emphasizes the importance of developing comprehensive policies and regulatory frameworks to address these challenges. Recommendations for overcoming obstacles are discussed, highlighting the need for collaboration among stakeholders, including government agencies, technology providers, and the public.

Conclusion

The integration of AI into metropolitan transportation systems has the potential to revolutionize urban mobility, making cities safer, more efficient, and environmentally sustainable. By enhancing traffic management, reducing congestion, and improving safety, AI can significantly alleviate the challenges faced by urban transportation systems. However, the successful implementation of AI technologies requires addressing key challenges, including infrastructure development, data privacy, and cybersecurity concerns.

Future research should focus on several critical areas to further advance the application of AI in urban transportation. First, the development of explainable AI models is essential to ensure transparency and build trust among users. Second, integrating emerging technologies, such as the Internet of Things (IoT) and smart city initiatives, can enhance the effectiveness of AI solutions. Third, policies addressing ethical considerations and data privacy must be crafted to protect citizens while fostering innovation.

In conclusion, the strategic implementation of AI in metropolitan transportation systems can lead to improved quality of life for urban residents. By harnessing the power of AI, cities can create smarter, more responsive transportation networks that meet the demands of a rapidly changing urban environment. The journey towards smarter urban mobility is just beginning, and continued research and collaboration will be crucial in realizing the full potential of AI in transportation.

واکاوی تجارب جهانی هوش مصنوعی در حوزه‌های حمل‌ونقل کلان‌شهری

علیرضا نوری

پژوهشگر حوزه حمل‌ونقل شهری، دانشگاه بریتیش کلمبیای شمالی (UNBC)، بریتیش کلمبیا، کانادا. رایانامه: noory@unbc.ca

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	این مقاله پژوهشی، تجارب جهانی در زمینه کاربرد هوش مصنوعی (AI) در سیستم‌های حمل‌ونقل کلان‌شهری را بررسی می‌کند. در این مقاله کاربردهای مختلف هوش مصنوعی، تأثیرات آن‌ها بر بهره‌وری، پایداری و ایمنی، و چالش‌های موجود در پیاده‌سازی آن‌ها مورد تحلیل قرار گرفته است. این مقاله به بررسی کاربردهای هوش مصنوعی (AI) در سیستم‌های حمل‌ونقل کلان‌شهری می‌پردازد و تأثیرات آن بر کارایی، پایداری و ایمنی را تحلیل می‌کند. با توجه به چالش‌های جدی مانند ازدحام ترافیک و آلودگی در کلان‌شهرهایی نظیر تهران، استفاده از AI می‌تواند به بهبود مدیریت ترافیک و کاهش تصادفات کمک کند. مقاله به بررسی روش‌های مختلفی مانند جمع‌آوری و تحلیل داده‌های ترافیکی، بهینه‌سازی چراغ‌های راهنمایی و پیش‌بینی حوادث می‌پردازد. همچنین، چالش‌هایی همچون نیاز به زیرساخت‌های قوی، نگرانی‌های حریم خصوصی و امنیت سایبری را مورد توجه قرار می‌دهد. در نهایت، پیشنهادهایی برای تحقیقات آینده از جمله توسعه مدل‌ها، ادغام با فناوری‌های نوظهور و طراحی سیاست‌های مؤثر برای مدیریت چالش‌های اجتماعی و اخلاقی ارائه می‌دهد.
تاریخ‌های مقاله: تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۲ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰	
کلیدواژه: هوش مصنوعی، حمل‌ونقل، شهری، ایمنی، استراتژی‌های ترافیکی.	

استناد: نوری، علیرضا (۱۴۰۴). واکاوی تجارب جهانی هوش مصنوعی در حوزه‌های حمل‌ونقل کلان‌شهری. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۲ (۲) ۱۲۵-۱۳۹.
DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.511600.1017>

© علیرضا نوری
DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.511600.1017>



مقدمه

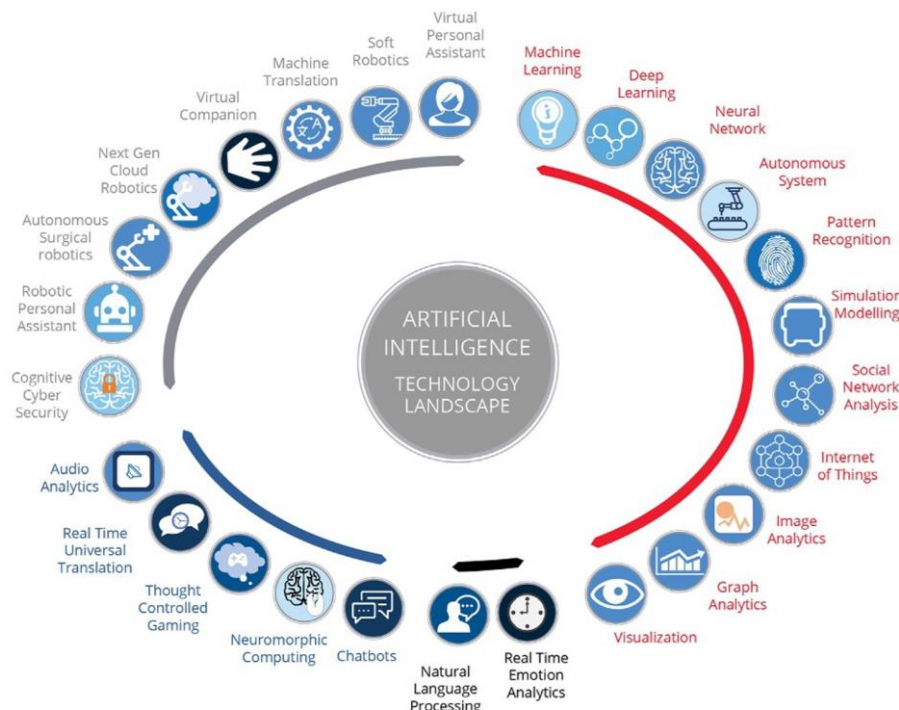
رشد سریع شهرنشینی، چالش‌های قابل توجهی را برای سیستم‌های حمل‌ونقل کلان‌شهری ایجاد کرده است، از جمله ازدحام ترافیک، آلودگی هوا و نگرانی‌های مرتبط با ایمنی شبکه حمل‌ونقل. به طور متوسط، بیش از ۵۰۰ نفر در سال در شهر تهران بر اثر حوادث ترافیکی جان خود را از دست می‌دهند که رقم قابل توجهی را به خود اختصاص می‌دهد [۱]. این موضوع نشان‌دهنده آن است که تهران به عنوان یکی از کلان‌شهرهای بزرگ جهان با چالش‌های قابل توجهی در زمینه ترافیک و ایمنی مواجه است. به کارگیری هوش مصنوعی (AI) می‌تواند به عنوان یک راه‌حل مؤثر برای بهبود جریان ترافیک و کاهش حوادث ترافیکی مطرح شود. این مقاله به بررسی چگونگی استفاده از هوش مصنوعی در مدیریت ترافیک و بهبود ایمنی جاده‌ها می‌پردازد.

بر اساس بررسی انجام‌گرفته، یکی از کاربردهای کلیدی هوش مصنوعی در مدیریت ترافیک، جمع‌آوری و تحلیل داده‌های ترافیکی است. با استفاده از حسگرهای هوشمند و دوربین‌های نظارتی، داده‌های مربوط به میزان ترافیک، سرعت وسایل نقلیه و الگوهای حرکتی جمع‌آوری می‌شود. این داده‌ها به الگوریتم‌های یادگیری ماشین وارد می‌شوند تا الگوهای ترافیکی شناسایی و تجزیه و تحلیل شوند. علاوه بر این موضوع، الگوریتم‌های هوش مصنوعی قادر به پیش‌بینی حوادث احتمالی بر اساس داده‌های تاریخی و شرایط جاری هستند. به بیان دقیق‌تر، با شناسایی نقاط پرخطر و زمان‌های بحرانی، می‌توان اقدامات پیشگیرانه‌ای را انجام داد. به عنوان مثال، اگر الگوریتم‌ها تشخیص دهند که در یک تقاطع خاص احتمال تصادف بالا است، می‌توانند چراغ‌ها را برای کاهش سرعت وسایل نقلیه تنظیم کنند. همچنین، استفاده از هوش مصنوعی در مدیریت چراغ‌های راهنمایی می‌تواند به بهینه‌سازی جریان ترافیک کمک کند. با تحلیل داده‌های ترافیکی در زمان واقعی، سیستم‌های هوشمند می‌توانند زمان چراغ‌های راهنمایی را بر اساس حجم ترافیک تنظیم کنند. این کار می‌تواند زمان انتظار وسایل نقلیه را کاهش دهد و موجب کاهش ترافیک و تصادفات شود. در کنار کنترل شبکه معابر، کنترل تقاضا و توزیع سفر نیز از دیگر کاربردهای هوش مصنوعی است. هوش مصنوعی می‌تواند به مسافران کمک کند تا بهترین مسیر را برای رسیدن به مقصد خود انتخاب کنند. با استفاده از اپلیکیشن‌های مبتنی بر AI، رانندگان می‌توانند از مسیرهای کم‌ترافیک و ایمن‌تر استفاده کنند. این امر نه تنها به کاهش ترافیک کمک می‌کند، بلکه به کاهش زمان سفر و مصرف سوخت نیز منجر می‌شود. به علاوه، سیستم‌های هوش مصنوعی می‌توانند به مسئولان راهنمایی و رانندگی در اتخاذ تصمیمات بهتر کمک کنند.

با ارائه پیش‌بینی‌های دقیق از وضعیت ترافیک و حوادث احتمالی، این سیستم‌ها می‌توانند به مدیران کمک کنند تا اقدامات پیشگیرانه‌ای را برای بهبود ایمنی معابر شهری به‌خصوص در شهر پر ازدحامی همچون تهران انجام دهند. با وجود مزایای بالقوه، پیاده‌سازی هوش مصنوعی در مدیریت ترافیک با چالش‌هایی نیز مواجه است. یکی از این چالش‌ها، نیاز به زیرساخت‌های قوی و هزینه‌های بالای پیاده‌سازی فناوری‌های جدید است که به‌خصوص در شرایط جاری کشور و نیاز به عدم وابستگی به سایر ساختارهای خارج از شهر تهران و کشور از اهمیتی ویژه برخوردار است. علاوه بر این، نگرانی‌های مربوط به حریم خصوصی داده‌ها و امنیت سایبری نیز باید مورد توجه قرار گیرد. بر این اساس، تلاش شده است تا در این مقاله به بررسی همه‌جانبه موضوع و ارزیابی ظرفیت‌ها و چالش‌های به‌کارگیری هوش مصنوعی پرداخته شود. نوآوری این پژوهش در تحلیل جامع و نظام‌مند کاربردهای هوش مصنوعی در سیستم‌های حمل‌ونقل کلان‌شهری با توجه ویژه به بافت‌های شهری در حال توسعه مانند تهران است. به خلاف مطالعات پیشین که اغلب بر پیاده‌سازی‌های منفرد هوش مصنوعی یا راه‌حل‌های فناوریانه خاص تمرکز داشته‌اند، این پژوهش مروری یکپارچه ارائه می‌دهد که در آن فناوری‌های نوظهور مانند متاورس با سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند پیوند می‌خورند و چشم‌اندازی جامع از کاربردهای عملی هوش مصنوعی در مدیریت حمل‌ونقل شهری به دست می‌دهد. همچنین، این پژوهش با بررسی موازی چالش‌های فنی، اجتماعی و اخلاقی، رویکردی متوازن به پیاده‌سازی هوش مصنوعی ارائه می‌کند که می‌تواند به عنوان راهنمایی برای سیاست‌گذاران و مدیران شهری در مواجهه با مسائل پیچیده حمل‌ونقل شهری در کلان‌شهرهایی مانند تهران مورد استفاده قرار گیرد.

هوش مصنوعی و کاربردهای آن در برنامه‌ریزی شهری

هوش مصنوعی در حمل‌ونقل شهری طبق تعریف Guevara و Cheein عبارت است از: «ماشین‌ها یا رایانه‌هایی که عملکردهای شناختی مرتبط با ذهن انسان مانند یادگیری و حل مسئله را تقلید می‌کنند» [۲].



شکل ۱. اجزای مختلف و المان‌های هوش مصنوعی مؤثر بر مدیریت شهری [۵]

بر اساس تعریف شرکت IBM، هوش مصنوعی (Artificial Intelligence) فناوری‌ای است که رایانه‌ها و ماشین‌ها را قادر می‌سازد تا یادگیری، درک، حل مسئله، تصمیم‌گیری، خلاقیت و استقلال انسان را شبیه‌سازی کنند [۳]. Sanchez و همکاران (۲۰۲۲) توضیح می‌دهند که این فناوری‌ها شامل یادگیری ماشین، پردازش زبان طبیعی، بینایی کامپیوتر و رباتیک هستند که در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند کاربرد دارند [۴].

Tong و همکاران (۲۰۱۹) چهار سطح از هوش مصنوعی را شناسایی کرده‌اند که شامل هوش محدود، هوش عمومی، هوش فراانسانی و هوش مصنوعی موجودیت مدار است [۶]. همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، ۲۶ نوع المان مختلف بر مبنای هوش مصنوعی توسعه یافته است که از آن میان ۱۱ مورد می‌توانند به نحوی چشمگیر بر مدیریت شهری و برنامه‌ریزی شهر مؤثر باشند. در این شکل موارد با قابلیت تأثیرگذاری بالا با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند [۵].

بر اساس شکل ۱، یادگیری ماشین (Machine Learning) که به عنوان یکی از زیرمجموعه‌های هوش مصنوعی در نظر گرفته می‌شود، به سیستم‌ها این امکان را می‌دهد که به طور خودآموز، سازگار شوند و از تجربه‌های گذشته بهبود یابند، بدون اینکه به طور صریح برنامه‌ریزی شده باشند. این فناوری با تجزیه و تحلیل داده‌ها و استخراج الگوها، می‌تواند تصمیم‌گیری‌های مؤثرتری را تسهیل کند. به بیان بهتر، یادگیری ماشین به سیستم‌ها اجازه می‌دهد که از داده‌های خام، مشاهدات، تجربیات مستقیم یا آموزش‌های داده‌شده، یاد بگیرند. این فرایند یادگیری به شناسایی الگوها و تسهیل تصمیم‌گیری‌های دقیق‌تری منجر می‌شود. الگوریتم‌های کلاسیک یادگیری ماشین، متن را به عنوان دنباله‌ای از کلمات کلیدی در نظر می‌گیرند و به تحلیل معنایی آن می‌پردازند، که این امر شبیه به توانایی انسان در درک معنای متن است. شبکه‌های عصبی (Neural Networks) یکی دیگر از اجزای اصلی یادگیری ماشین هستند و در هسته الگوریتم‌های یادگیری عمیق قرار دارند. نام این شبکه‌ها از ساختار مغز انسان الهام گرفته شده است و به گونه‌ای طراحی شده‌اند که با مفهوم تعامل نورون‌ها در مغز مطابقت داشته باشند. شبکه‌های عصبی

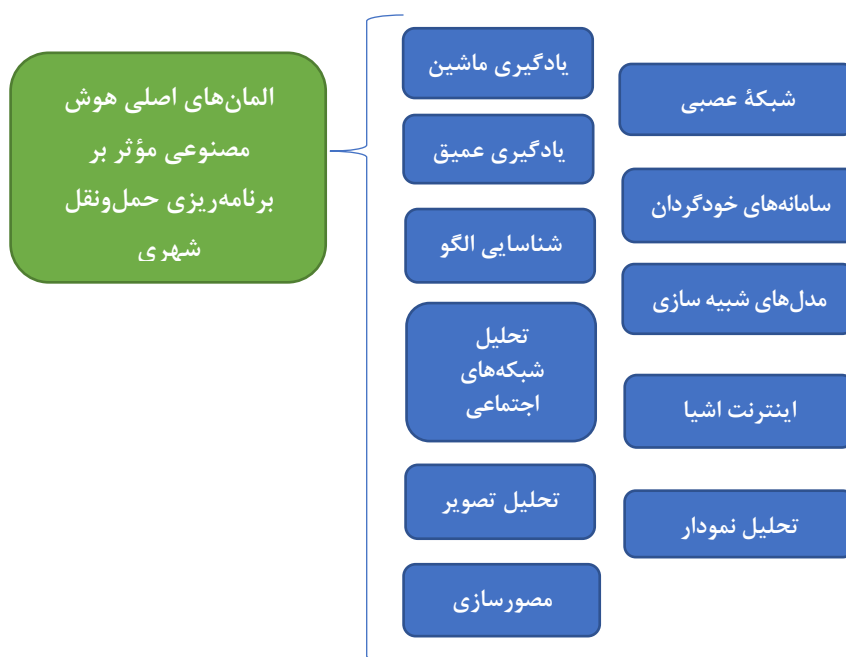
مصنوعی (Artificial Neural Networks) شامل لایه‌های گره، یک یا چند لایه زیرین و یک لایه خروجی هستند. هر گره به عنوان یک نورون مصنوعی تصور می‌شود که به همسایه‌ای با وزن و آستانه مرتبط اتصال دارد [۵]. در این میان، شبکه‌های Generative Adversarial (GANs)ها نوعی از یادگیری ماشین هستند که در آن دو شبکه عصبی رقیب در یک بازی صفر - جمع با یکدیگر رقابت می‌کنند. یکی از شبکه‌ها تولیدکننده و دیگری تمایزدهنده نام دارند. تولیدکننده وظیفه دارد خروجی‌هایی را به طور مصنوعی تولید کند که ممکن است به عنوان داده‌های واقعی اشتباه گرفته شوند. در این فرایند، GANها مجموعه‌های آموزشی خود را ایجاد می‌کنند و به یادگیری الگوها می‌پردازند. در کنار موارد یادشده، یادگیری عمیق زیرمجموعه‌ای از یادگیری ماشین است که شبکه‌های عصبی با حداقل سه لایه را شامل می‌شود. این شبکه‌ها برای تقلید از مغز انسان طراحی شده‌اند و می‌توانند از منابع داده بزرگ یاد بگیرند. یادگیری عمیق در بهبود اتوماسیون و انجام وظایف تحلیلی و عملی مستقل از دخالت مستقیم انسان، نقش اساسی دارد.

نوع دیگری از اجزای هوش مصنوعی قابل به‌کارگیری در شهر و مدیریت شهری سیستم‌های خودران هستند. سیستم‌های خودران می‌توانند هنگام عملیات رفتار خود را در پاسخ به ورودی‌های غیرمنتظره تغییر دهند. این سیستم‌ها با «هوش» داخلی خود قادر به ادراک، پردازش، یادگیری و تصمیم‌گیری در مورد مسیرهای مناسب به طور خودکار هستند. این ویژگی‌ها باعث بهبود عملکرد در بازی‌ها و تسهیل کارکردهای مختلف مانند پرواز پهپادها و ربات‌ها می‌شود [۵].

با توجه به اثرگذاری خودروهای خودران بر آینده حمل‌ونقل شهرها، یکی از المان‌های مهم قابل بررسی در حوزه هوش مصنوعی، این گونه از وسایل حمل‌ونقل هستند. در کنار موارد یادشده، ساختارهای شناسایی الگو قرار دارند که نه تنها بر اقدامات مدیریت شهری اثر گذار هستند، بلکه به صورت مستقیم در بسیاری از نمونه‌های مدیریت حمل‌ونقل شهری تأثیرگذار بوده‌اند. شناسایی الگو به الگوریتم‌های کامپیوتری این امکان را می‌دهد که الگوهایی را در داده‌ها شناسایی کنند که به طور معمول نامرئی هستند. این سیستم‌ها با استفاده از داده‌های آموزشی برچسب‌گذاری شده آموزش می‌بینند و قادر هستند داده‌ها را بر اساس الگوها طبقه‌بندی کنند. شناسایی الگو به طراحان و برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا درک عمیق‌تری از داده‌ها و روابط آن‌ها داشته باشند. مدل‌سازی شبیه‌سازی نوع دیگری از انواع هوش مصنوعی هستند که هدف تأثیرگذاری آن‌ها بیشتر بر اقدامات مدیران شهر است. در این میان، مدل‌های شبیه‌سازی ترافیک که از ابزارهای نسبتاً نوظهور مهندسی ترافیک هستند با مدل‌سازی دقیق شبکه و ارزیابی سناریوهای مختلف امکان تصمیم‌گیری با هزینه پایین‌تر را برای مدیران شهری فراهم می‌سازند [۷]. در حقیقت، می‌توان گفت که مدل‌سازی شبیه‌سازی به پژوهش‌هایی که نیاز به محیط مجازی برای شبیه‌سازی سیستم‌های فیزیکی دارند، کمک می‌کند. این مدل‌سازی به عنوان یک محیط نمونه‌سازی است که تغییرات در یک سیستم می‌تواند به طور ایمن آزمایش و ارزیابی شوند. سه چارچوب اصلی برای مدل‌سازی شبیه‌سازی شامل شبیه‌سازی رویداد گسسته، دینامیک سیستم و مدل‌سازی مبتنی بر عامل (Agent based) هستند [۸].

در کنار تصمیم‌گیری‌های مستقیم مدیریت شهری، تأثیرگذاری بر کاربران شبکه معابر نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. علاوه بر آن، می‌توان شماری از برنامه‌ریزی‌ها را بر اساس بازخوردهایی که افراد در شبکه‌های اجتماعی از خود نشان داده‌اند به انجام رساند. تجزیه و تحلیل شبکه‌های اجتماعی رفتار افراد را در سطح میکرو و ساختار شبکه را از الگوی روابط در سطح کلان بررسی می‌کند. این تجزیه و تحلیل به برنامه‌ریزان این امکان را می‌دهد که فرصت‌ها و محدودیت‌های موجود در تصمیم‌گیری‌های خود را شناسایی کنند. نوع دیگری از انواع تأثیرگذار بر مدیریت شهری اینترنت اشیا است. اینترنت اشیا به شبکه‌ای از دستگاه‌های متصل اشاره دارد که شامل کامپیوترها، حسگرها و اشیای دیجیتال و مکانیکی است. این شبکه‌ها می‌توانند داده‌ها را از محیط‌های خود جمع‌آوری کرده و آن‌ها را پردازش کنند. تأثیر IoT بر شیوه عملکرد شهرها به‌ویژه در زمینه‌های هوشمندسازی، در حال افزایش است. تجزیه و تحلیل تصویر، تجزیه و تحلیل گراف و تجسم داده‌ها (Visualization) انواع دیگری از المان‌های مؤثر هوش مصنوعی هستند که می‌توانند در مدیریت شهری، به‌خصوص مدیریت حمل‌ونقل شهری مؤثر واقع شوند. تجزیه و تحلیل تصویر، که به عنوان بینایی کامپیوتری یا شناسایی تصویر نیز شناخته می‌شود، می‌تواند به طور خودکار اطلاعات را

از مجموعه‌ای از تصاویر استخراج کند. این فرایند می‌تواند به طور قابل توجهی زمان برنامه‌ریزان و طراحان شهری را صرفه‌جویی کند و آن‌ها را قادر سازد تا تفاوت‌های نامحسوس را شناسایی کنند.



شکل ۲. المان‌های هوش مصنوعی مؤثر بر شبکه حمل‌ونقل شهری [۵]

تجزیه و تحلیل گراف برای داده‌های ساختاری، غیرساختاری، عددی یا بصری به منظور استخراج بینش‌های مؤثر بر تصمیم‌گیری به کار می‌رود. این فناوری می‌تواند به برنامه‌ریزان و طراحان شهری کمک کند تا داده‌ها را بهتر درک کنند و آن‌ها را به طور معناداری به غیرکارشناسان انتقال دهند. تجسم به معنای نمایاندن داده‌ها به صورت گرافیکی به شیوه‌هایی است که تعامل با این نمایش‌ها را تسهیل می‌کند.

تجسم داده‌ها برای برنامه‌ریزان و طراحان شهری یک نیاز اساسی است، زیرا به آن‌ها کمک می‌کند تا روندها را بشناسند و از بینش‌های به دست آمده بهره‌برداری کنند [۵]. این موارد در شکل ۲ به اختصار نمایش داده شده است.

در جدول ۱ تلاش شده است تا دسته‌بندی روشنی از اقدامات مدیریت شهری و تکنیک‌های هوش مصنوعی قابل کاربرد در تحقق اهداف هر یک از اقدامات ارائه شود. بر این اساس می‌توان گفت که مدیریت شهری با استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی می‌تواند بهینه‌سازی‌های قابل توجهی در زمینه‌های مختلفی از جمله جریان ترافیک و طراحی شهری انجام دهد. به عنوان مثال، در بهینه‌سازی جریان ترافیک، الگوریتم‌های یادگیری ماشینی و یادگیری عمیق به پیش‌بینی الگوهای ترافیک و بهینه‌سازی سیستم‌های چراغ راهنمایی کمک می‌کنند. این سیستم‌ها با تجزیه و تحلیل داده‌های ترافیکی می‌توانند به مدیریت ازدحام و کنترل ترافیک تطبیقی منجر شوند. علاوه بر این، کاهش اثر جزیره گرمایی شهری از طریق شناسایی مناطق با دمای بالا و بهینه‌سازی طراحی شهری، با استفاده از سنجش از دور و مدل‌سازی اقلیم، به بهبود کیفیت زندگی شهری کمک می‌کند.

در زمینه بهینه‌سازی زیرساخت‌ها و برنامه‌ریزی استفاده از اراضی، هوش مصنوعی با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی می‌تواند مکان و طراحی زیرساخت‌ها را بهبود بخشد و به توسعه شبکه‌های جاده‌ای کارآمد و مسیرهای بهینه‌سازی حمل‌ونقل عمومی منجر شود. علاوه بر این، طراحی مولد بر اساس پارامترهای مشخص با استفاده از الگوریتم‌های مولد و یادگیری ماشینی، امکان ایجاد طرح‌های شهری نوآورانه و پایدار را فراهم می‌آورد. همچنین، مشارکت شهروندان با تجزیه و تحلیل بازخوردها و پیش‌بینی نیازهای آن‌ها به وسیله پردازش زبان طبیعی و تحلیل احساسات، می‌تواند به بهبود خدمات عمومی و تصمیمات برنامه‌ریزی شهری کمک کند. این اقدامات نه تنها کارایی مدیریت شهری را افزایش می‌دهد، بلکه به بهبود کیفیت زندگی ساکنان نیز می‌انجامد.

جدول ۱. اقدامات مختلف مدیریت شهری و زمینه‌های استفاده از هوش مصنوعی در آن حوزه‌ها [۵ و ۷]

اقدام مدیریت شهری	عملکرد	تکنیک‌های هوش مصنوعی مورد استفاده	مثال‌ها
بهینه‌سازی جریان ترافیک	پیش‌بینی الگوهای ترافیک، بهینه‌سازی سیستم‌های چراغ راهنمایی، مدیریت ازدحام	یادگیری ماشینی، یادگیری عمیق، یادگیری تقویتی	سیستم‌های مدیریت ترافیک هوشمند، کنترل ترافیک تطبیقی
کاهش اثر جزیره گرمایی شهری	شناسایی مناطق با دمای بالا، بهینه‌سازی طراحی شهری برای کاهش گرما	یادگیری ماشینی، سنجش از دور، مدل‌سازی اقلیم	استراتژی‌های سبز شهری، بهینه‌سازی طراحی ساختمان‌ها
بهینه‌سازی زیرساخت‌ها	بهینه‌سازی مکان و طراحی زیرساخت‌ها (جاده‌ها، حمل‌ونقل عمومی)	یادگیری ماشینی، الگوریتم‌های بهینه‌سازی، شبیه‌سازی	شبکه‌های جاده‌ای کارآمد، مسیرهای بهینه‌سازی حمل‌ونقل عمومی
برنامه‌ریزی استفاده از اراضی شهری	پیش‌بینی الگوهای استفاده از زمین، بهینه‌سازی مقررات منطقه‌بندی	یادگیری ماشینی، تحلیل مکانی، شبیه‌سازی	الگوهای کارآمد استفاده از زمین، برنامه‌های توسعه شهری بهینه‌سازی شده
طراحی مولد	ایجاد طرح‌های شهری نوآورانه بر اساس پارامترهای مشخص	الگوریتم‌های مولد، یادگیری ماشینی، الگوریتم‌های بهینه‌سازی	طرح‌های شهری جدید، طرح‌های ساختمان‌های پایدار
مشارکت شهروندان	تجزیه و تحلیل بازخورد شهروندان، پیش‌بینی نیازهای شهروندان	پردازش زبان طبیعی، تحلیل احساسات، یادگیری ماشینی	بهبود خدمات عمومی، تصمیمات برنامه‌ریزی شهری بهینه‌سازی شده

هوش مصنوعی و سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند (ITS)

سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند (ITS) سنگ‌بنای حمل‌ونقل شهری مبتنی بر هوش مصنوعی هستند [۹]. در زمینه مدیریت ترافیک هوشمند، Cirianni و همکاران (۲۰۲۳) به سیستم‌های کنترل چراغ‌های راهنمایی تطبیقی اشاره می‌کنند که می‌توانند با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، به صورت بلادرنگ با شرایط ترافیکی سازگار شوند [۱۰]. در پژوهشی، محمد ال‌اسی و همکاران اجزای کلیدی ITS را از جمله شبکه‌های خودرویی سیار (VANETs)، چراغ‌های راهنمایی هوشمند (ITL)، چراغ‌های راهنمایی مجازی و پیش‌بینی تحرک را به عنوان اجزای اصلی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند شهری بررسی کرده‌اند. تحقیقات آن‌ها بر نقش ITS در بهبود کارایی، ایمنی و پایداری ترافیک، و کمک به ایجاد شهرهای هوشمند سازگار با محیط زیست تأکید داشته است. ادغام هوش مصنوعی در سیستم‌های مدیریت ترافیک، تجزیه و تحلیل داده‌ها در زمان واقعی را امکان‌پذیر می‌کند و جریان ترافیک را بهبود می‌بخشد و ازدحام را کاهش می‌دهد [۱۱].

جدول ۲. شاخص‌های حمل‌ونقل هوشمند مؤثر بر عملکرد هوش مصنوعی [۱۱]

دسته شاخص‌ها	شاخص	چگونگی بررسی پیشنهادی
حمل‌ونقل عمومی	میزان سرانه استفاده از حمل‌ونقل عمومی	داده‌ها از آمار رسمی حمل‌ونقل هر کشور
	راندمان حمل‌ونقل عمومی (سرعت، قابلیت اطمینان)	اندازه‌گیری شده با معیارهایی مانند متوسط زمان سفر و عملکرد به موقع
	دسترسی به حمل‌ونقل عمومی	ارزیابی شده بر اساس پوشش، فرکانس و سهولت دسترسی به حمل‌ونقل عمومی
زیرساخت‌های جاده‌ای	تراکم شبکه جاده‌ای	کیلومتر جاده به ازای هر کیلومتر مربع از منطقه شهری
	میزان استفاده از سیستم‌های چراغ راهنمایی هوشمند	درصد تقاطع‌هایی با سیستم‌های ITL
	آمار ایمنی جاده‌ای (تصادفات، تلفات)	داده‌ها از مقامات ملی ایمنی جاده‌ای
میزان پذیرش فناوری	میزان استفاده از سیستم‌های پارکینگ هوشمند	درصد فضای پارک با فناوری پارکینگ هوشمند
	استفاده از برنامه‌های ITS (برنامه‌های ناوبری و غیره)	درصد جمعیتی که از برنامه‌های مرتبط با ITS استفاده می‌کنند
	پوشش شبکه 5G	درصد منطقه شهری تحت پوشش شبکه 5G
خدمات فوری	زمان پاسخ‌گویی به خدمات اورژانس	متوسط زمان لازم برای رسیدن خدمات اورژانس به محل حادثه.
	ادغام فناوری‌های هوشمند در پاسخ به بحران	میزان استفاده از فناوری‌های هوشمند مانند پهپادها (IoT) در پاسخ به بحران.
	انتشار گازهای آلاینده از حمل‌ونقل	داده‌ها از سازمان‌های رسمی محیط زیست
پایداری	سهم حمل‌ونقل عمومی در سفرها	درصد سفرهایی که با حمل‌ونقل عمومی انجام می‌شود

مطالعات موردی ارائه‌شده در کار ال‌اسی، پیاده‌سازی‌های موفق ITS و مزایای زیست‌محیطی آن‌ها را نشان می‌دهد. این مطالعه همچنین چالش‌های امنیتی مرتبط با استقرار ITS، به‌ویژه در مورد حریم خصوصی حمل‌ونقل عمومی را مورد بحث قرار می‌دهد. بر اساس مطالعات یادشده، شاخص‌های حمل‌ونقل هوشمند مؤثر بر عملکرد هوش مصنوعی به پنج دسته کلی تقسیم می‌شوند که در جدول ۲ مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

متاورس و سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند مبتنی بر داده (DDITS)

متاورس به عنوان یک محصول تحول‌آفرین بر مبنای اینترنت در حال ظهور است که چشم‌انداز آن برای آینده دگرگونی تعاملات انسانی در زمینه‌های مختلفی از جمله آموزش، بهداشت و صنعت است. متاورس را می‌توان در گروه‌های مختلفی از آنچه در شکل ۲ به آن پرداختیم جای داد که از جمله آن می‌توان به مصورسازی و مدل‌سازی اشاره کرد. این اصطلاح که ابتدا توسط نیل استفنسون در سال ۱۹۹۲ مطرح شد، با افزایش سرمایه‌گذاری‌های شرکت‌های بزرگ فناوری در توسعه آن، دوباره توجهات را جلب کرده است. متاورس تصویری از یک شبکه دنیای دیجیتال را ارائه می‌دهد که در آن کاربران می‌توانند به طور یکپارچه با استفاده از دستگاه‌های واقعیت مجازی (VR) و واقعیت افزوده (AR) به جست‌وجو و تعامل بپردازند و این امکان را فراهم می‌آورد که آموزش شخصی‌سازی‌شده، آموزش شغلی و تعاملات اجتماعی بر اساس آن بهبود یابد. با این حال، این دنیای متصل همچنین نگرانی‌های جدی اخلاقی و حریم خصوصی را به همراه دارد که باید برای حصول به نتایج مثبت برای جامعه مورد توجه قرار گیرد [۱۲].

با توسعه متاورس، پیش‌بینی می‌شود که این فناوری در ۵ تا ۱۰ سال آینده به بخشی جدایی‌ناپذیر از زندگی روزمره تبدیل شود، و این تحت تأثیر پیشرفت‌های سریع فناوری خواهد بود. به عنوان مثال، راه‌اندازی اخیر هدست واقعیت افزوده Vision Pro توسط اپل، پتانسیل یکپارچگی بی‌نقص محتوای دیجیتال در فعالیت‌های روزانه را نشان می‌دهد.

علاوه بر این، متاورس فرصت‌های منحصربه‌فردی برای بهبود محیط‌های کاری ارائه می‌دهد و امکان ایجاد دفاتر مجازی قابل تنظیم که انعطاف‌پذیری و خلاقیت را ترویج می‌کنند، فراهم می‌کند. این فناوری همچنین می‌تواند محیط‌های کاری را برای افراد دارای معلولیت بیشتر قابل دسترس کند و در نتیجه، دسترسی و مشارکت را گسترش دهد. با وجود نقاط مثبت متاورس، این فناوری نیازمند دقت نظر در مورد پیامدهای اخلاقی و خطرات حریم خصوصی ناشی از جمع‌آوری گسترده داده‌ها است [۱۲].

با جمع‌آوری داده‌های شخصی حساس، نگرانی‌ها در مورد رضایت کاربران و امنیت داده‌ها به شدت افزایش یافته است. کارشناسان بر اهمیت تنظیم مقررات پیشگیرانه و پذیرش اصول «حریم خصوصی» تأکید می‌کنند که جمع‌آوری داده‌ها را به اطلاعات ضروری محدود می‌کند و پردازش و ذخیره‌سازی داده‌ها را ایمن می‌سازد [۱۲].

علاوه بر کاربردهای یادشده، کاربرد فناوری‌های متاورس در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند مبتنی بر داده هم چشم‌اندازهای هیجان‌انگیز و هم چالش‌های قابل توجهی را در بر داشته است [۱۳]. متاورس با محیط‌های فراگیر خود، پتانسیل افزایش مدیریت ترافیک و نظارت بر وسایل نقلیه را دارد. مطالعات موردی مانند فناوری نامرئی به مرئی (I2V) شرکت نیسان و متاورس روی چرخ‌ها WayRay (MoW) نشان می‌دهند چگونه واقعیت افزوده (AR) و واقعیت مجازی (VR) می‌توانند تجربه رانندگی را بهبود بخشند و ایمنی خودرو را افزایش دهند و از سوی دیگر، بر حمل‌ونقل هوشمند شهرها مؤثر باشند. با وجود پیشرفت‌های پروژه‌های متنوع حوزه متاورس، چالش‌هایی در زمینه‌هایی مانند تشخیص نقص خودرو، آزمایش فناوری‌های جدید و تضمین سیستم‌های ایمنی هوشمند وجود دارد.

در جدول ۳ تلاش شده است تا چالش‌ها و فرصت‌های ادغام فناوری‌های متاورس در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند مبتنی بر داده بر اساس جوانب مختلف ارائه شود. با وجود ابعاد مختلف چالش‌ها و فرصت‌های موجود، به طور کلی می‌توان گفت که ادغام هوش مصنوعی با برنامه‌های متاورس می‌تواند به فرایندهای تصمیم‌گیری مؤثرتر در مدیریت ترافیک و تحرک شهری منجر شود و مشکلات فعلی را برطرف کند.

جدول ۳. چالش‌ها و فرصت‌های ادغام فناوری‌های متاورس در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند مبتنی بر داده

چالش‌ها	فرصت‌ها	جنبه
هزینه بالای پیاده‌سازی، پتانسیل حواس‌پرتهی، محدودیت‌های دسترسی	نمایش پیشرفته شرایط ترافیک، ناوبری بهبودیافته، شبیه‌سازی رانندگی فراگیر	تجربه کاربری
خطرات امنیتی سایبری، پتانسیل نقص عملکرد، وابستگی به فناوری	آگاهی راننده از محیط اطراف، تشخیص زود هنگام خطرات، آموزش پیشرفته رانندگان	ویژگی‌های ایمنی
دقت شبیه‌سازی‌ها، اعتبارسنجی مدل‌های مجازی، ادغام با سیستم‌های دنیای واقعی	آزمایش مجازی فناوری‌ها و زیرساخت‌های جدید، شبیه‌سازی‌های به‌صرفه	آزمایش و توسعه
هزینه‌های اولیه سرمایه‌گذاری، هزینه‌های نگهداری مداوم، نیاز به تخصص‌های خاص	کاهش هزینه‌های مرتبط با آزمایش فیزیکی و توسعه زیرساخت‌ها	صرفه‌جویی در هزینه
نقص امنیت داده‌ها، پتانسیل سوء استفاده از داده‌ها، مسائل مربوط به انطباق با مقررات	پتانسیل افزایش حریم خصوصی داده‌ها از طریق ناشناس‌سازی و محیط‌های مجازی امن	حریم خصوصی داده‌ها
محدودیت‌های تکنولوژیکی، فقدان استانداردهای، نیاز به پهنای باند بالا	ادغام با ITS موجود، توسعه رابط‌های کاربری آسان، قابلیت همکاری بین سیستم‌های مختلف	موانع تکنولوژیکی

سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش مصنوعی برای حمل‌ونقل شهری پایدار

در این بخش از مقاله به سیستم‌های هوش مصنوعی قابل استفاده و تأثیرگذار در مدیریت حمل‌ونقل در شهرها و به‌خصوص کلان‌شهرها پرداخته شده است. یکی از کاربردهای مهم هوش مصنوعی که در جدول ۴ نیز به آن اشاره شده، سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش مصنوعی است. سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS) مبتنی بر هوش مصنوعی نقش مهمی در افزایش تحرک‌پذیری شهری پایدار دارند [۱۴]. در این پژوهش نشان داده شده است که چگونه هوش مصنوعی می‌تواند از طریق شبیه‌سازی‌ها و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، بینش‌های عملی برای برنامه‌ریزان شهری ارائه دهد. شبیه‌سازی‌های مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند تأثیر سیاست‌های مختلف تحرک شهری را ارزیابی کنند و به شناسایی استراتژی‌های بهینه برای کاهش ازدحام و انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کنند. ادغام هوش مصنوعی در سیستم‌های حمل‌ونقل، توسعه شهرهای هوشمند را با بهبود بهره‌وری، پایداری و کیفیت زندگی برای ساکنان پشتیبانی می‌کند. جدول ۴ به تجارب برتر جهانی در پیاده‌سازی هوش مصنوعی در حمل‌ونقل شهری و جدول ۵ کاربردهای عمده هوش مصنوعی در حمل‌ونقل شهری (با تمرکز بر کلان‌شهرها) پرداخته است. بر این اساس، یکی از کاربردهای مهم هوش مصنوعی که در بیشتر شهرهای دنیا نیز از آن استفاده شده، پیش‌بینی جریان است. با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشینی، یادگیری عمیق و تحلیل سری زمانی، می‌توان به پیش‌بینی جریان ترافیک و شناسایی ازدحام پرداخت. این فناوری‌ها امکان پیش‌بینی ترافیک سنگین را فراهم می‌آورند و به بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی کمک می‌کنند. به این ترتیب، شهرها می‌توانند با استفاده از تحلیل داده‌ها، مدیریت بهتری روی ترافیک داشته باشند و در نتیجه کیفیت زندگی ساکنان را افزایش دهند.

رانندگی خودکار نیز یکی دیگر از کاربردهای مهم هوش مصنوعی است که با فعال‌سازی قابلیت‌های رانندگی خودکار، امکان تحولی در صنعت حمل‌ونقل را فراهم می‌آورد. تکنیک‌های یادگیری عمیق، یادگیری تقویتی و بینایی کامپیوتری برای توسعه خودروهای خودران و سیستم‌های ناوبری خودکار به کار می‌روند. این فناوری‌ها نه تنها ایمنی را افزایش می‌دهند، بلکه می‌توانند به کاهش ترافیک و بهبود کارایی سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی کمک کنند. Liu و همکاران (۲۰۲۴) فناوری‌های کنترل خودکار قطار را بررسی می‌کند و نتایج نشان می‌دهد این سیستم‌ها می‌توانند دقت برنامه‌ریزی را در برخی موارد تا بیش از ۵۰ درصد افزایش دهند [۱۵].

Vujadinovic و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهش جامع خود نشان داده‌اند بهینه‌سازی مسیریابی و زمان‌بندی اتوبوس‌ها با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری تقویتی می‌تواند سبب کاهش ۲۸ درصد در زمان انتظار مسافران شود [۱۶]. Liu و همکاران (۲۰۲۳) سیستم‌های پیش‌بینی تقاضای مسافری را توسعه داده‌اند که می‌تواند با دقت ۸۹ درصد تقاضای حمل‌ونقل عمومی را در

ساعت‌های مختلف روز پیش‌بینی کند [۱۷]. Hosseini و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه خود به اهمیت مدیریت ناوگان با استفاده از هوش مصنوعی اشاره کرده و نشان داده‌اند که این روش می‌تواند هزینه‌های عملیاتی را تا ۲۱ درصد کاهش دهد [۱۸].

جدول ۴. تجارب برتر جهانی در پیاده‌سازی هوش مصنوعی در حمل‌ونقل شهری

کشور/شهر	پروژه/فناوری	نتایج کلیدی	مرجع
سنگاپور	سیستم Smart Mobility 2030	کاهش ۱۵ درصد در تراکم ترافیک	(۱۹)
توکیو	سیستم مدیریت ترافیک سراسری توکیو (UTMS)	بهبود ۲۵ درصد در جریان ترافیک	(۱۷), (۲۰)
برلین	پلتفرم MaaS (Mobility as a Service)	افزایش ۳۰ درصد در استفاده از حمل‌ونقل عمومی	(۱۶), (۲۱)
دبی	سیستم حمل‌ونقل هوشمند مشارکتی	کاهش ۱۲ درصد در تصادفات	(۲۲), (۲۳)
آمستردام	سیستم پیش‌بینی ترافیک مبتنی بر AI	کاهش ۲۰ درصد در زمان سفر	(۱۰)
کپنهاگ	اتوبوس‌های خودران	افزایش ۱۸ درصد در رضایت مسافران	(۲۴)
سئول	مرکز عملیات سیستم اطلاعات حمل‌ونقل سئول	بهبود ۲۲ درصد در مدیریت بحران	(۲۵), (۲۶)
لندن	سیستم مدیریت تقاطع هوشمند	کاهش ۱۷ درصد در تأخیرات	(۲۷)
نیویورک	سیستم حمل‌ونقل پاسخ‌گو به تقاضا	افزایش ۲۶ درصد در کارایی ناوگان	(۲۸)
هلسنیکی	پلتفرم یکپارچه حمل‌ونقل چندوجهی	کاهش ۳۳ درصد در انتشار کربن	(۲۹)

جدول ۵. کاربردهای عمده هوش مصنوعی در حمل‌ونقل شهری (با تمرکز بر کلان‌شهرها)

دسته برنامه‌های هوش مصنوعی	عملکرد	تکنیک‌های هوش مصنوعی مورد استفاده	مثال‌ها
پیش‌بینی ترافیک	پیش‌بینی جریان ترافیک، شناسایی ازدحام	یادگیری ماشینی، یادگیری عمیق، تحلیل سری زمانی	پیش‌بینی ترافیک سنگین، بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ راهنمایی
رانندگی خودکار	فعال‌سازی قابلیت‌های رانندگی خودکار	یادگیری عمیق، یادگیری تقویتی، بینایی کامپیوتری	خودروهای خودران، سیستم‌های ناوبری خودکار
جلوگیری از تصادف	جلوگیری از تصادفات از طریق هشدارهای بلادرنگ	بینایی کامپیوتری، ادغام حسگرها، یادگیری ماشینی	ترمز اضطراری خودکار، سیستم حفظ خط
بهینه‌سازی مسیر	پیشنهاد مسیرهای بهینه بر اساس شرایط ترافیک	الگوریتم‌های گراف، یادگیری تقویتی	برنامه‌های ناوبری، مسیریابی هوشمند ترافیک
کمک به پارک کردن	یافتن فضای پارک موجود	بینایی کامپیوتری، ادغام حسگرها	سیستم‌های پارکینگ هوشمند، دستیاران پارک خودکار
رانندگی گروهی خودکار (پلوتونینگ)	بهینه‌سازی رانندمان سوخت و ایمنی در گروه‌های خودرو	هوش گروهی، یادگیری تقویتی	رانندگی گروهی خودکار

علاوه بر این، هوش مصنوعی در جلوگیری از تصادفات و بهینه‌سازی مسیرها نیز نقش مهمی ایفا می‌کند. تحقیقات Tong و همکاران (۲۰۱۹) نشان می‌دهد سیستم‌های V2X (وسیله به همه چیز) برای ارتباطات وسایل نقلیه می‌توانند تا ۴۵ درصد در کاهش تصادفات مؤثر باشند [۶]. با استفاده از بینایی کامپیوتری و ادغام حسگرها، سیستم‌های هشدار بلادرنگ می‌توانند به جلوگیری از تصادفات کمک کنند و قابلیت‌هایی مانند ترمز اضطراری خودکار و سیستم حفظ خط را ارائه دهند. همچنین، الگوریتم‌های گراف و یادگیری تقویتی می‌توانند مسیرهای بهینه را بر اساس شرایط ترافیک پیشنهاد دهند، در حالی که سیستم‌های پارکینگ هوشمند و دستیاران پارک خودکار نیز با استفاده از بینایی کامپیوتری به یافتن فضای پارک موجود کمک می‌کنند. این نوآوری‌ها در نهایت به بهبود رانندمان سوخت و ایمنی در گروه‌های خودرو، مانند رانندگی گروهی (پلوتونینگ)، می‌انجامد.

چالش‌ها و موانع پیاده‌سازی

علاوه بر موارد یادشده، چالش‌های فنی و همچنین چالش‌های سازمانی و اجتماعی به عنوان اصلی‌ترین چالش‌ها در پیش‌روی توسعه، گسترش و پیاده‌سازی ساختارهای هوش مصنوعی در مدیریت حمل‌ونقل شهری مطرح هستند. از جمله چالش‌های فنی، Cugurullo و Yigitcanlar (۲۰۲۰) به مسائل مرتبط با کیفیت و دسترسی به داده‌ها اشاره کرده و تأکید می‌کنند که بدون

داده‌های باکیفیت، پیاده‌سازی موفق هوش مصنوعی غیرممکن است. گزارش FHWA (۲۰۱۹) نشان می‌دهد یکی از چالش‌های مهم، تفسیرپذیری و قابلیت اعتماد مدل‌های AI است که برای پذیرش عمومی این فناوری‌ها ضروری است [۲۷]. Moslem (۲۰۲۰) در مطالعه خود به مسائل مربوط به حریم خصوصی و امنیت داده می‌پردازد و راهکارهایی مانند رمزگذاری داده‌ها و استفاده از یادگیری فدرال را پیشنهاد می‌کند [۲۳]. همچنین، برخی چالش‌های سازمانی و اجتماعی در مسیر به‌کارگیری هوش مصنوعی وجود دارد که نیازمند توجه دقیق و ویژه است. Cruz و Sarmiento در پژوهش خود نشان داده‌اند نیاز به همکاری بین بخشی یکی از چالش‌های مهم پیاده‌سازی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند است [۳۰]. Shulajkovska و همکاران (۲۰۲۴) با بررسی پذیرش عمومی فناوری‌های جدید، نشان می‌دهند ۶۲ درصد از شهروندان نگرانی‌هایی درباره استفاده از خودروهای خودران دارند [۳۱]. Alanazi در سال ۲۰۲۳ هزینه‌های بالای پیاده‌سازی را به عنوان یکی از موانع اصلی معرفی می‌کند و تأکید می‌کند که سرمایه‌گذاری اولیه برای استقرار زیرساخت‌های هوشمند می‌تواند تا ۴۰ درصد هزینه‌های سنتی بیشتر باشد [۱۹].

نتیجه‌گیری

هوش مصنوعی به عنوان یک ابزار تحول‌آفرین در سیستم‌های حمل‌ونقل کلان‌شهری، به‌ویژه در کلان‌شهرهایی مانند تهران، قابلیت‌های شگرفی برای بهبود کارایی، ایمنی و پایداری ساختارهای حمل‌ونقلی ارائه می‌دهد. با توجه به چالش‌های بزرگی که تهران در زمینه ترافیک و ایمنی حمل‌ونقل با آن‌ها مواجه است، استفاده از فناوری‌های هوش مصنوعی می‌تواند به عنوان یک راهکار مؤثر برای مدیریت بهتر ترافیک و کاهش حوادث ترافیکی مطرح شود. از جمله کاربردهای کلیدی هوش مصنوعی می‌توان به جمع‌آوری و تحلیل داده‌های ترافیکی، پیش‌بینی حوادث، بهینه‌سازی چراغ‌های راهنمایی و کمک به رانندگان در انتخاب مسیرهای بهینه اشاره کرد. این فناوری‌ها نه تنها می‌توانند زمان انتظار وسایل نقلیه را کاهش دهند، بلکه به بهبود کیفیت زندگی ساکنان از طریق افزایش کیفیت زیست‌پذیری محیط شهری نیز کمک خواهند کرد.

بررسی جامع کاربردهای هوش مصنوعی در سیستم‌های حمل‌ونقل کلان‌شهری نشان می‌دهد این فناوری دستاوردهای چشمگیری در شاخص‌های عملکردی داشته است. بر اساس مطالعات انجام‌شده، پیاده‌سازی سیستم‌های هوشمند مدیریت ترافیک در سنگاپور به کاهش ۱۵ درصد در تراکم ترافیکی منجر شده، در حالی که در توکیو، استفاده از سیستم مدیریت ترافیک سراسری (UTMS) بهبود ۲۵ درصد در روانی جریان ترافیک را به همراه داشته است. همچنین، پلتفرم Mobility as a Service در برلین افزایش ۳۰ درصد در استفاده از حمل‌ونقل عمومی را نشان داده است. این نتایج حاکی از آن است که به‌کارگیری سیستم‌های هوشمند می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر کارایی سیستم‌های حمل‌ونقل شهری داشته باشد. در زمینه ایمنی، سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند مشارکتی در دبی موفق به کاهش ۱۲ درصد در نرخ تصادفات شده‌اند. پژوهش‌های Tong و همکاران نیز نشان می‌دهد سیستم‌های V2X می‌توانند تا ۴۵ درصد در کاهش تصادفات مؤثر باشند. علاوه بر این، سیستم مدیریت تقاطع هوشمند در لندن کاهش ۱۷ درصد در تأخیرات را به ثبت رسانده است. سیستم پیش‌بینی ترافیک مبتنی بر هوش مصنوعی در آمستردام به کاهش ۲۰ درصد در زمان سفر منجر شده، و اتوبوس‌های خودران در کپنهاگ افزایش ۱۸ درصد در رضایت مسافران را به همراه داشته‌اند. این آمار نشان‌دهنده نقش مهم فناوری‌های هوشمند در بهبود ایمنی و رضایتمندی کاربران است.

در بعد مدیریت ناوگان و خدمات، مطالعات نشان می‌دهد مدیریت ناوگان با استفاده از هوش مصنوعی می‌تواند هزینه‌های عملیاتی را تا ۲۱ درصد کاهش دهد. سیستم حمل‌ونقل پاسخ‌گو به تقاضا در نیویورک افزایش ۲۶ درصد در کارایی ناوگان را گزارش کرده است. در هلستینکی، پلتفرم یکپارچه حمل‌ونقل چندوجهی به کاهش ۳۳ درصد در انتشار کربن کمک کرده است. مطالعه Vujadinovic و همکاران نشان می‌دهد بهینه‌سازی مسیریابی و زمان‌بندی اتوبوس‌ها با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری تقویتی می‌تواند سبب کاهش ۲۸ درصد در زمان انتظار مسافران شود. این نتایج بیانگر پتانسیل بالای هوش مصنوعی در افزایش بهره‌وری و کاهش اثرات زیست‌محیطی است.

با این‌حال، پیاده‌سازی هوش مصنوعی در سیستم‌های حمل‌ونقل با چالش‌هایی مواجه است که نیاز به توجه دارد. از جمله این چالش‌ها می‌توان به نیاز به زیرساخت‌های قوی، هزینه‌های بالا، نگرانی‌های حریم خصوصی و امنیت سایبری اشاره کرد. در

شرایط کنونی، این مسائل به‌ویژه در تهران که با محدودیت‌های اقتصادی و زیرساختی مواجه است، بسیار حائز اهمیت هستند. همچنین، وجود تکنولوژی‌های نوظهور مانند متاورس و اینترنت اشیا (IoT) می‌تواند بر نحوه تعامل سیستم‌های حمل‌ونقل با کاربران و محیط اطراف تأثیر بگذارد. بنابراین، تحقیق در این زمینه باید به طور جدی‌تر مورد توجه قرار گیرد که مواردی از پیشنهادها برای پژوهش‌های آتی به شرح ذیل ارائه می‌شود: نخست، توسعه مدل‌های قابل توضیح که قادر به بیان واضح دلایل تصمیمات خود باشند تا اعتماد کاربران را جلب کنند. دوم، ارزیابی تأثیرات اجتماعی و اقتصادی هوش مصنوعی بر پایداری شهری و رشد اقتصادی، که می‌تواند به شناسایی اثرات منفی فناوری‌های جدید کمک کند. سوم، ادغام هوش مصنوعی با فناوری‌های نوظهوری مانند متاورس و IoT برای توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند و بهبود تجربه کاربری. چهارم، طراحی سیاست‌های مؤثر برای مدیریت چالش‌های اخلاقی و اجتماعی، با توجه به حریم خصوصی داده‌ها و امنیت سایبری. پنجم، نیاز به آموزش و توانمندسازی نیروی انسانی برای بهره‌برداری مؤثر از این فناوری‌ها. و در نهایت، توسعه زیرساخت‌های هوشمند شامل حسگرها و سیستم‌های ارتباطی پیشرفته که داده‌های دقیق و به‌موقع را برای تحلیل و تصمیم‌گیری فراهم کند. این رویکردهای جامع می‌توانند به عنوان راهکاری مؤثر برای بهبود سیستم‌های حمل‌ونقل کلان‌شهری، به‌ویژه در تهران، عمل کنند.

منابع

1. Baghani AN, Dana E, Sorooshian A, Jafari AJ, Aalamolhoda AA, Sheikhi R, et al. Sensitivity of BTEX pollution and health effects to traffic restrictions: A case study in an urban center of Tehran, Iran. *Sustainable Cities and Society*. 2024;104:105281.
2. Guevara, J., & Cheein, F. A. Machine Learning Approaches for Urban Mobility Prediction. s.l. : IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2020.
3. Stryker, Cole .What is artificial intelligence (AI) : IBM, 9 August 2024.
4. Sanchez, L., Martinez, R., & Garcia,. A. Artificial Intelligence Applications in Smart City Transportation. s.l. : Smart Cities, 2022.
5. IMDAT AS, PRITHWISH BASU, PRATAP TALWAR .ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN URBAN PLANNING AND DESIGN : .Joseph P. Hayton, 2022.
6. Tong, Z., Li, W., & Zhang, H. Levels of Artificial Intelligence in Urban Transportation. s.l. : Journal of Advanced Transportation, 2019.
7. Barceló, Jaume ., Fundamentals of traffic simulation .New York : Springer, Vol. 145., 2010
8. Multimodal evacuation simulation and scenario analysis in dense urban area: Philadelphia, Pennsylvania, case study .Yuan, F & .Puchalsky, C. M .2015 ,Transportation Research Record.
9. Alanazi, Fayeze .Development of Smart Mobility Infrastructure in Saudi Arabia : .MDPI, 2023.
10. Cirianni, F., Delia, G., Raso, G. Adaptive Traffic Signal Control using Machine Learning Algorithms. s.l. : Transportation Research Procedia, 2023.
11. Elassy, Mohamed .Intelligent transportation systems for sustainable smart cities : .Transportation Engineering, 2024.
12. Walsh, Louise .What is the metaverse : Cambridge university, 2023 .
<https://www.cam.ac.uk/stories/metaverse>.
13. Nwakanma, C.I .Prospects and challenges of Metaverse application in data-driven : .IET Intelligent Transport Systems, 2022 .DOI: 10.1049/itr2.12252.
14. WANGTONG .Artificial Intelligence for Vehicle-to-Everything : .IEEE, 2019 .Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2019.2891073.
15. Liu, W., Zhang, K., Chen, X. Intelligent Transportation Systems: Global Innovations. s.l. : IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2024.
16. Vujadinovic, T., Stevanovic, A., Marko, N. AI-Enhanced Public Transit Routing and Scheduling. s.l. : Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2024.
17. Liu, H., Chen, Y., Wang, Z. Passenger Demand Prediction in Urban Public Transportation. s.l. : Journal of Intelligent Transportation Systems, 2023.
18. Hosseini, S., Banihashemi, S., Reza, M. AI-Driven Fleet Management Strategies. s.l. : Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2024.
19. Alanazi, Fayeze .Development of Smart Mobility Infrastructure in Saudi Arabia. s.l. : MDPI, 2023.
20. Makino, H., et al. Urban Traffic Management Systems: A Global Perspective. s.l. : Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2018.
21. Hensher, D., et al. Mobility as a Service: Global Experiences. s.l. : Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2022.
22. Ahmed, M., et al. Cooperative Intelligent Transportation Systems: Safety and Efficiency. s.l. : Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2022.
23. Moslem, S. Data Privacy and Security in Intelligent Transportation Systems. s.l. : International Journal of Information Security and Privacy, 2023.
24. Kumar Jha, A., et al. Autonomous Buses in Urban Transportation. s.l. : Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2021.
25. Visan, I., et al .Urban Mobility Transformation through Artificial Intelligence : .Journal of Urban Technology, 2022.
26. Kim, J., Moon, H .Transportation Information Operation Centers: Global Innovations : . International Journal of Urban Sciences, 2015.
27. Yigitcanlar, T., Cugurullo, F. Artificial Intelligence and Urban Technologies: Critical Perspectives. s.l. : Cities, 2020.

28. Shaheen, S., et al. Demand-Responsive Transportation Systems. s.l. : Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2021.
29. Jittrapirom, P., et al. Multimodal Urban Transportation Integration. s.l. : Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2017.
30. Cruz, L., & Sarmiento, J. Interdisciplinary Challenges in Smart Transportation Implementation. s.l. : Technology in Society, 2020.
31. Shulajkovska, V., et al. Public Perception of Autonomous Vehicle Technologies. s.l. : Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2024.
32. Multimodal evacuation simulation and scenario analysis in dense urban area: Philadelphia, Pennsylvania, case study .Yuan, F & .Puchalsky, C. M .2015 ,Transportation Research Record
33. Yu, H., Chen, X., & Liu, P. AI-Driven Urban Transportation Systems: A Comprehensive Review. s.l. : Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2019.
34. Visan, I., et al .Urban Mobility Transformation through Artificial Intelligence : .Journal of Urban Technology, 2022.
35. Kim, J.,Moon, H .Transportation Information Operation Centers: Global Innovations : . International Journal of Urban Sciences, 2015.