Journal of Sustainable City, 8 (4), 2025

Journal of Sustainable City

Online ISSN: 2476-6151

Journal Homepage: www.jscity.ir

Artificial Intelligence in Sustainable Urban Transportation: A Scientometric Analysis of Trends, Conceptual Clusters, and Research Gaps (2005–2024)

Hafez Mahdnejad [1] ✉

1. (Corresponding Author) *Department of Geography, Faculty of Humanities, Seyyed Jamal-eddin Asadabadi University, Asadabad, Iran*
Email: h.mahdnejad@sjau.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received:
6 July 2025
Received in revised form:
10 October 2025
Accepted:
19 November 2025
Available online:
23 December 2025

Keywords:
Sustainable transportation, Smart city, Sustainability, Artificial intelligence, VOSviewer.

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) plays a key role in optimizing urban transportation systems and reduces traffic and energy consumption by analyzing real data. The present study, using a qualitative-quantitative scientometric approach and a descriptive-analytical method, analyzed the trends, conceptual structure, research gaps, and future directions in the field of applying artificial intelligence in sustainable urban transportation during the years 2005 to 2024. The statistical population consists of 172 documents indexed in the Scopus database, which were analyzed through a structured search and keyword co-occurrence analysis with VOSviewer software. According to the research findings, scientific production has changed from gradual growth (2005–2015) to accelerated growth (especially from 2021 onwards), which is due to technological developments, climate pressures, the expansion of smart cities, and the simultaneous COVID-19 pandemic. The geographical distribution of resources shows the leadership of countries such as India, China, the United States, and Italy, which reflects the impact of rapid urbanization and national policies on knowledge generation. Cluster analysis revealed six key conceptual areas including AI technologies, environmental and sustainability dimensions, user behavior and mobility, transportation policy, system optimization, and decision support systems. The results indicate that the ultimate goal of AI in urban transportation planning is to achieve urban sustainability goals, but it faces gaps in the integration of social justice, algorithmic details, environmental indicators, and context-based analyses. Hence, future research should move AI from efficiency towards social justice, environmental integration, context-based algorithms, interdisciplinary collaboration, and urban living labs.

Citation: Mahdnejad, H. (2025). Artificial Intelligence in Sustainable Urban Transportation: A Scientometric Analysis of Trends, Conceptual Clusters, and Research Gaps (2005–2024). *Journal of Sustainable City,* 8(4), 61-78.
http://doi.org/10.22034/jsc.2026.522219.1844

© The Author(s) Publisher: Iranian Geography and Urban Planning Association.
This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Extended Abstract

Introduction

The application of Artificial intelligence (AI) in urban transport, from intelligent traffic management to autonomous vehicles and decision-making systems, has significant potential to reduce emissions, optimize energy consumption, and improve citizens' access to transport services. However, despite the rapid expansion of this field, collective knowledge about its conceptual structure, evolutionary trends, and future directions is still scattered and unorganized. This is doubly important because AI can act as a tool for achieving sustainable development goals such as sustainable cities and climate action, and, on the other hand, if designed inequitably, it can exacerbate social and accessibility gaps.

In this regard, the main question of the present study is: How has the global knowledge structure in the field of AI in sustainable urban transport been formed, what trends and dominant conceptual clusters exist in it, and what research and policy gaps does it face? Previous studies have mainly focused on technical or case-specific aspects and have not addressed a systematic and comprehensive analysis of global literature with a scientometric approach, especially identifying research gaps and future directions. Therefore, the present study aims to fill this gap by systematically mapping the knowledge of this field over the period 2005 to 2024.

Based on this, the main objectives of the present study are: identifying temporal and geographical trends in knowledge production, analyzing conceptual clusters and keyword co-occurrence networks, identifying research gaps and providing future directions.

Methodology

The present study is descriptive-analytical in terms of method with a qualitative-quantitative scientometric approach; because in addition to describing the patterns of document analysis, keyword co-occurrence, overlap, and vocabulary density, it has been attempted to identify conceptual clusters and semantic relationships of conceptual clusters of artificial intelligence in sustainable urban transportation, as well as identifying research gaps and future directions. Also, this study is considered an applied research in terms of purpose.

The statistical population includes all sources indexed in the Scopus database from 2005 to 2024, which includes 172 sources. In fact, the basis of the present study is research that has been conducted in the last 20 years. To retrieve documents, a structured search was performed with the aim of covering the broadest possible meanings of two key concepts:

TITLE-ABS-KEY ("artificial intelligence" OR "AI" OR "machine learning" OR "deep learning" OR "neural network" OR "intelligent system") AND ("sustainable urban transport" OR "sustainable mobility" OR "green transport" OR "eco-friendly urban mobility" OR "low-carbon urban transport").

Results and discussion

The most important findings of the study show that the production of scientific resources in the field of AI applications in sustainable urban transport has gone from gradual growth (2005–2015) to accelerated growth (from 2021 onwards). This acceleration is influenced by four key factors: technological developments in AI (especially deep learning and natural language processing from 2018 onwards), global political and environmental pressures (such as the Paris Agreement and the Sustainable Development Goals), the expansion of smart cities, and the impacts of the COVID-19 pandemic.

Geographical analysis reveals the prominence of countries such as India (with 33 sources), China (21 sources), the United States, Germany, and Italy, which is due to a combination of rapid urbanization, supportive government policies, and strong research infrastructure. Co-occurrence analysis of terms reveals three conceptual layers: technology (AI, big data), operational application (urban transport, traffic), and policy (sustainable development, urban planning). Additionally, six conceptual clusters are identified that demonstrate the semantic relationship between technology,

sustainability, user behavior, policy, optimization, and spatial decision-making.
However, research gaps are evident, such as the lack of attention to social justice in mobility, the neglect of algorithmic aspects and emerging technologies (such as autonomous vehicles), and the lack of comparative, context-based studies. Future directions require a focus on AI for justice, the integration of environmental indicators into algorithms, the development of context-based solutions for developing cities, and deeper interdisciplinary research.

Conclusion

The research findings indicate that the field of AI in sustainable urban transport has undergone extensive changes, as it has transformed from a novel idea in the first decade of this century to a dynamic and multidimensional research trend with rapid growth since 2021. Factors such as digital advances, environmental crises and global climate pressures, the development of smart cities, and developments after the COVID-19 pandemic have made this field a dynamic and multifaceted topic. In addition, the geographical distribution of resources indicates the leadership of countries such as India, China, and the United States, reflecting the effects of rapid urbanization and national policies on knowledge production.
Based on scientometric analyses, six key conceptual clusters in the field of AI in sustainable urban transport have been revealed. These six conceptual clusters include AI technologies, environmental and sustainability components, user behavior and mobility, transportation policy, system optimization, and decision support systems. At the same time, emerging concepts, including terms such as smart cities, deep learning, and micromobility, have recently attracted serious attention from researchers and policymakers. However, the social and algorithmic aspects have received less attention.

Funding

This research was conducted independently by the author without any financial support from any organization or institution.

Authors' Contribution

The author solely carried out all stages of this research, including study design, data collection, data analysis, manuscript writing, and editing.

Conflict of Interest

The author declares that there is no conflict of interest regarding the writing, execution, or publication of this article.

Acknowledgments

The author sincerely thanks all individuals who directly or indirectly contributed to the completion of this research, especially the reviewers and evaluators whose constructive feedback helped improve the quality of the manuscript.

مجلـــه شـــهر پایـــدار
شاپا الکترونیکی: 2476-6151
Journal Homepage: www.jscity.ir

هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری: تحلیل علم‌سنجی روندها، خوشه‌های مفهومی و شکاف‌های پژوهشی (۲۰۰۵–۲۰۲۴)

حافظ مهدنژاد [۱] ✉

۱– نویسنده مسئول، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه سیدجمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران. رایانامه: h.mahdnejad@sjau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۴/۰۴/۱۵
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۴/۰۷/۱۸
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۰۸/۲۸
تاریخ چاپ:
۱۴۰۴/۱۰/۰۲

واژگان کلیدی:
حمل‌ونقل پایدار، شهر هوشمند، پایداری، هوش مصنوعی، VOSviewer.

چکیده

هوش مصنوعی نقش کلیدی در بهینه‌سازی سیستم‌های حمل‌ونقل شهری دارد و با تحلیل داده‌های واقعی، ترافیک را کاهش و مصرف انرژی را کاهش می‌دهد. پژوهش حاضر با رویکرد علم‌سنجی کیفی–کمی و روش توصیفی–تحلیلی، به تحلیل روند، ساختار مفهومی، شکاف‌های پژوهشی و جهت‌گیری‌های آینده در حوزه کاربست هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۴ پرداخته است. جامعه آماری متشکل از ۱۷۲ سند نمایه شده در پایگاه اسکوپوس است که با جست‌وجوی ساختاریافته و تحلیل هم رخدادی کلیدواژگان با نرم‌افزار VOSviewer، تحلیل گردید. بر اساس یافته‌ها پژوهش، تولید علمی از رشد تدریجی (۲۰۰۵–۲۰۱۵) به رشد شتابان (به‌ویژه از ۲۰۲۱ به بعد) تغییریافته که علت آن تحولات فناوری، فشارهای اقلیمی، گسترش شهرهای هوشمند و پاندمی کووید–۱۹ هم‌زمان است. توزیع جغرافیایی منابع نشانگر پیشتازی کشورهایی نظیر هند، چین، ایالات‌متحده و ایتالیا است که نمایانگر تأثیر شهرنشینی شتابان و سیاست‌های ملی در تولید دانش است. تحلیل خوشه‌ای شش حوزه مفهومی کلیدی مشتمل بر فناوری‌های هوش مصنوعی، ابعاد زیست‌محیطی و پایداری، رفتار کاربران و تحرک، سیاست‌گذاری حمل‌ونقل، بهینه‌سازی سیستم‌ها و سیستم‌های پشتیبان تصمیم را آشکار نمود. نتایج نشانگر آن است که هدف نهایی هوش مصنوعی در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری، تحقق اهداف پایداری شهری است، اما با شکاف‌هایی در ادغام عدالت اجتماعی، جزئیات الگوریتمی، شاخص‌های زیست‌محیطی و تحلیل‌های زمینه‌محور مواجه است. ازاین‌رو، پژوهش‌های آینده باید هوش مصنوعی را از کارایی به سمت عدالت اجتماعی، یکپارچگی محیطی، الگوریتم‌های زمینه‌محور، همکاری‌های میان‌رشته‌ای و آزمایشگاه‌های زنده شهری به سمت حرکت دهند.

استناد: مهدنژاد، حافظ. (۱۴۰۴). هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری: تحلیل علم‌سنجی روندها، خوشه‌های مفهومی و شکاف‌های پژوهشی (۲۰۰۵–۲۰۲۴). *مجله شهر پایدار*، ۸ (۴)، ۷۸–۶۱.

http://doi.org/10.22034/jsc.2026.522219.1844

© نویسندگان

ناشر: انجمن جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری ایران

مقدمه

هوش مصنوعی به‌عنوان یک عامل حیاتی در دستیابی به آینده شهری پایدار و بدون کربن ظهور کرده است. برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران شهری با ادغام هوش مصنوعی در ساختار توسعه شهر هوشمند، به‌طور فزاینده‌ای از ابزارهایی مانند تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، یادگیری ماشین و مدل‌سازی پیش‌بینی برای بهبود برنامه‌ریزی شهری، مدیریت بحران و بهینه‌سازی منابع استفاده کرده‌اند. این پیشرفت‌های فناوری از تصمیم‌گیری آگاهانه‌تر، ارتقای بهره‌وری عملیاتی و بهبود کیفیت کلی زندگی در محیط‌های شهری پشتیبانی کرده‌اند (Salhi et al., 2025; Lartey & Law, 2025). هوش مصنوعی در حال متحول کردن برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری است و نقش محوری در بهینه‌سازی سیستم‌های حمل‌ونقل برای توسعه شهر هوشمند ایفا می‌کند (Ogundare, 2024; Al-Raeei, 2024). در سال ۲۰۲۴، تعداد اختراعات ثبت‌شده جدید هوش مصنوعی در سراسر جهان به ۴۵۰۰۰ رسید. پیشرفت فناوری هوش مصنوعی و کاربردهای متنوع آن، تغییر الگو را در حوزه‌های متعددی، از جمله حمل‌ونقل، تسریع کرده است. این تحول فناوری، ساختارهای حمل‌ونقل و مدل‌های توسعه را به‌طور قابل‌توجهی متحول کرده است. افزون بر این، دگرگونی مداومی را در سبک زندگی و محیط‌های سفر انسان ایجاد کرده است. با افزایش سرعت شهرنشینی و تشدید تغییرات اقلیمی، توسعه حمل‌ونقل سبز به یک مسئله حیاتی برای توسعه پایدار شهری جهانی تبدیل‌شده است. پیشرفت سریع فناوری هوش مصنوعی، مسیرهای فنی جدیدی را برای رسیدگی به چالش‌های ترافیک شهری ایجاد کرده است (Makanadar & Shahane, 2024; Liu & Xie, 2025). هوش مصنوعی نیرویی دگرگون‌کننده در سیستم‌های حمل‌ونقل بوده است که به‌طور قابل‌توجهی کارایی را افزایش داده است. این فناوری از طریق پردازش و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، مدل‌سازی پیش‌بینی، وسایل نقلیه خودران، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی ترافیک و توصیه‌های شخصی‌سازی‌شده سفر، انقلابی در کارایی حمل‌ونقل ایجاد کرده است (Iyer, 2021). الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند حجم عظیمی از داده‌ها را از منابع مختلف تجزیه‌وتحلیل کنند، الگوها را شناسایی کنند، جریان ترافیک را پیش‌بینی کنند و استراتژی‌های مدیریت ترافیک را بهینه کنند. وسایل نقلیه خودران، که توسط الگوریتم‌های هوش مصنوعی هدایت می‌شوند، محیط اطراف خود را درک می‌کنند، تصمیم‌گیری می‌کنند و به‌طور مؤثر حرکت می‌کنند. مدل‌های شبیه‌سازی ترافیک، که محصول هوش مصنوعی هستند، شرایط ترافیک دنیای واقعی را به‌طور دقیق نشان می‌دهند و امکان آزمایش و بهینه‌سازی استراتژی‌های مدیریت ترافیک را فراهم می‌کنند. نقش هوش مصنوعی در تغییر سیستم‌های حمل‌ونقل قابل‌توجه است و تأثیر آن در جنبه‌های مختلف این حوزه احساس می‌شود (Nikitas et al., 2020; Zemmouchi-Ghomari, 2025).

در دهه‌های اخیر، شهرها به‌عنوان کانون‌های اصلی رشد سریع جمعیت، مصرف بالای انرژی و انتشار روزافزون گازهای گلخانه‌ای، با چالش‌های چندبعدی و پیچیده‌ای به‌خصوص در زمینه حمل‌ونقل مواجه گردیده‌اند. هم‌زمان، ظهور هوش مصنوعی به‌عنوان یکی از فناوری‌های نوظهور و محرک‌های کلیدی تحول دیجیتال، امیدهای جدیدی را برای طراحی سیستم‌های حمل‌ونقل مؤثر، پاسخ‌گو و پایدار ایجاد نموده است. کاربست هوش مصنوعی در حمل‌ونقل شهری از مدیریت ترافیک هوشمند تا خودروهای خودران و سیستم‌های تصمیم‌یار، پتانسیل قابل‌توجهی برای کاهش انتشارات، بهینه‌سازی مصرف انرژی و ارتقای دسترسی شهروندان به خدمات حمل‌ونقل دارد. باوجوداین، علیرغم گسترش سریع این حوزه، دانش جمعی درباره ساختار مفهومی، روندهای تکاملی و جهت‌گیری‌های آینده آن هنوز پراکنده و فاقد سازمان‌یافتگی است. اهمیت این موضوع ازآن‌جهت دوچندان می‌شود که هوش مصنوعی می‌تواند هم به‌مثابه ابزاری برای تحقق اهداف توسعه پایدار نظیر شهرهای پایدار و اقدامات اقلیمی عمل کند و از طرف دیگر، در صورت طراحی ناعادلانه، می‌تواند شکاف‌های اجتماعی و دسترسی‌پذیری را تشدید سازد. در این راستا، پرسش اساسی پژوهش حاضر این است: ساختار

دانش جهانی در حوزه هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری چگونه شکل‌گرفته، چه روندها و خوشه‌های مفهومی غالبی در آن وجود دارد و با چه شکاف‌های پژوهشی و سیاستی مواجه است؟ بررسی‌های پیشین عمدتاً بر جنبه‌های فنی یا موردی تمرکز نموده‌اند و کمتر به تحلیل سیستماتیک و جامع ادبیات جهانی با رویکرد علم‌سنجی و به‌خصوص شناسایی شکاف‌های پژوهشی و جهت‌گیری‌های آینده پرداخته‌اند. ازاین‌رو، پژوهش حاضر با هدف پوشش این شکاف، به‌صورت نظام‌مند به ترسیم نقشه دانش این حوزه در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۴ می‌پردازد. بر همین مبنا، اهداف اصلی پژوهش حاضر عبارت‌اند از: شناسایی روندهای زمانی و جغرافیایی تولید دانش؛ تحلیل خوشه‌های مفهومی و شبکه‌های هم رخدادی کلیدواژگان و شناسایی شکاف‌های پژوهشی و ارائه جهت‌گیری‌های آینده. ساختار مقاله به‌گونه‌ای طراحی گردیده که پس از روش‌شناسی، یافته‌های تحلیل‌های زمانی، جغرافیایی و مفهومی ارائه‌شده و در نهایت به نتیجه‌گیری، پیامدهای نظری–عملی و پیشنهادهای پژوهشی و سیاستی ختم می‌شود.

مبانی نظری

با پذیرش گسترده اینترنت و پیشرفت مداوم فناوری‌های هوشمند، تلاش‌ها برای توسعه سیستم‌های پیچیده‌تر که قادر به انجام خودکار اعمال انسانی باشند، ادامه دارد. این سیستم‌ها در درجه اول به هوش مصنوعی متکی هستند که اکنون توسط الگوریتم‌های یادگیری ماشین تقویت‌شده و یادگیری خودکارتری را از طریق شبکه‌های عصبی عمیق امکان‌پذیر می‌کنند که جنبه‌هایی از ادراک مغز انسان را شبیه‌سازی می‌کنند (Ferreira dos Santos et al., 2025). هوش مصنوعی دسته‌ای از فناوری‌ها است که داده‌ها را تفسیر و از آن‌ها یاد می‌گیرد تا وظایف، نقش‌ها و وظایف شناختی مرتبط با انسان‌ها را در محیط کار و جامعه گسترده‌تر انجام دهد (Li et al., 2025). هوش مصنوعی شهری نشان‌دهنده تغییر الگو از شهرهای هوشمند به شهرهای خود–تکاملی است. هسته فناوری آن محدود به ابزارهای سنتی حکمروایی دیجیتال مانند اینترنت اشیا و کلان داده نیست. در مقابل، از یادگیری ماشینی و الگوریتم‌های تصمیم‌گیری مستقل برای تبدیل زیرساخت‌های شهری به یک «موجودیت ارگانیک» با ادراک پویا و قابلیت‌های تطبیقی استفاده می‌نماید. استقلال، قابلیت‌های پیش‌بینی و منطق تصمیم‌گیری هوش مصنوعی – فراتر از محدودیت‌های انسانی – آن را قادر می‌سازد تا بدون نظارت به‌صورت مستقل عمل کند. برخلاف شهرهای هوشمند که بر بهینه‌سازی استاتیک تمرکز دارند، هوش مصنوعی شهری بر پویایی سیستم‌های شهری تأکید دارد و به‌طور مداوم از طریق تنظیمات افزایشی و حلقه‌های بازخورد در حال تکامل است. ظهور هوش مصنوعی شهری، از جمله رانندگی مستقل مبتنی بر هوش مصنوعی، سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند و کاربردهای یادگیری ماشینی و یادگیری عمیق، تأثیر عمیقی بر ساختارهای فضایی شهری و شیوه‌های حمل‌ونقل داشته است. تحت تأثیر فناوری‌های هوش مصنوعی، فرآیند شهرنشینی، شکل جدیدی از شهرنشینی به نام شهرنشینی هوش مصنوعی را ایجاد کرده است. در شهرنشینی هوش مصنوعی، هوش مصنوعی شهری، از تجزیه‌وتحلیل صرف داده‌ها به مدیریت فضایی شهری فعال و مبتنی بر هوش مصنوعی در حال تکامل است. این تغییر نشان می‌دهد که شهرهای آینده نه‌تنها تغییرات را پیش‌بینی می‌کنند، بلکه با تصمیم‌گیری و سازگاری خودکار با تحولات، مستقیماً بر حکمروایی شهری نیز تأثیر می‌گذارند. با قابلیت‌های تصمیم‌گیری خودکار و خودگردان، خود شهر به بخشی جدایی‌ناپذیر از هوش مصنوعی تبدیل می‌شود که اساساً محرک تحول شهری است (Wang, 2024; Xia et al., 2025).

سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند به‌عنوان یک نیروی انقلابی در محیط به‌سرعت در حال گسترش حمل‌ونقل مدرن

ظهور کرده‌اند و اساساً نحوه جابجایی افراد و اشیاء را تغییر می‌دهند. آن‌ها فناوری پیشرفته، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و سیستم‌های ارتباطی را با هدف بهبود اثربخشی، امنیت و سازگاری با محیط‌زیست شبکه‌های حمل‌ونقل ترکیب می‌نمایند (Elassy et al., 2024). هوش مصنوعی در وسایل نقلیه تعبیه‌شده است تا توانایی آن‌ها را در پیمایش و پاسخ به شرایط ترافیکی بدون دخالت انسان افزایش دهد (Li et al., 2018). نوآوری‌های نوظهور در خدمات حمل‌ونقل مانند اشتراک خودرو، اشتراک خودرو و اشتراک دوچرخه به‌طور فزاینده‌ای به هوش مصنوعی متکی هستند (Willing et al., 2017). ازاین‌رو، ادغام هوش مصنوعی در سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی، انقلابی در نحوه مدیریت و بهینه‌سازی عملیات حمل‌ونقل شهری ایجاد کرده است. فناوری‌ها و روش‌های فعلی هوش مصنوعی شامل طیف وسیعی از کاربردها با هدف بهبود برنامه‌ریزی، برنامه‌ریزی مسیر، تعمیر و نگهداری پیش‌بینی‌شده، مدیریت ترافیک و بهینه‌سازی جریان مسافر است (Haji Amiri & Kusakci, 2024). هوش مصنوعی با افزایش بهره‌وری عملیاتی و کیفیت خدمات، در حال متحول کردن حمل‌ونقل عمومی شهری است. بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، تجزیه‌وتحلیل داده‌های بلادرنگ و مدل‌سازی پیش‌بینی کننده، هوش مصنوعی به چالش‌های مهمی مانند انحراف از مسیر، مدیریت ترافیک و جریان مسافر می‌پردازد (Lukic Vujadinovic et al., 2024; Macioszek & Kurek, 2020; Yuan et al., 2020). هوش مصنوعی به‌طور فزاینده‌ای توسط اکوسیستمی از نوآوری‌های دیجیتال تکمیل می‌شود: حسگرهای اینترنت اشیا که داده‌های ترافیک را در زمان واقعی جمع‌آوری می‌کنند، فناوری پنج جی (نسل پنجم پهنای باند تلفن همراه) و شبکه‌های ارتباطی نسل بعدی که انتقال سریع داده‌ها را تضمین می‌نمایند، پلتفرم‌های بلاک چین که تراکنش‌ها را ایمن می‌کنند و اعتماد را افزایش می‌دهند، و زیرساخت‌های محاسبات ابری که تجزیه‌وتحلیل داده‌های مقیاس‌پذیر را امکان‌پذیر می‌نمایند (Bijalwan et al., 2024; Bahamazava, 2025). این فناوری‌ها، که به‌طور هم‌زمان کار می‌کنند، می‌توانند تجزیه‌وتحلیل‌های پیش‌بینی کننده را افزایش دهند، قابلیت همکاری سیستم را بهبود بخشند و در نهایت خدمات حمل‌ونقل سازگارتر و پاسخگوتری را هدایت کنند. به‌عنوان‌مثال، وسایل نقلیه خودران مبتنی بر هوش مصنوعی، هنگامی‌که با چراغ‌های راهنمایی مجهز به اینترنت اشیا و اتصال فناوری پنج جی ترکیب می‌شوند، می‌توانند جریان‌های ترافیک را با کارایی بیشتری همگام‌سازی کنند. به‌طور مشابه، تبادل امن داده‌ها از طریق بلاک چین می‌تواند قابلیت اطمینان خدمات را بهبود بخشد و اعتماد کاربر را در مدل‌های تحرک مشترک تقویت کند (Ahmed et al., 2024; Luusua et al., 2022;). باوجوداین، ادغام هوش مصنوعی، در کنار سایر ابزارهای دیجیتال نوظهور، چالش‌هایی را نیز به همراه دارد، از جمله ملاحظات اخلاقی، موانع نظارتی و خطر تشدید نابرابری‌های اجتماعی (Rahman & Thill, 2023). درک چگونگی تعامل، تکامل و تأثیر این فناوری‌های مکمل بر یکدیگر، برای ایجاد راه‌حل‌های پایدار حمل‌ونقل شهری که هم از نظر فناوری امکان‌پذیر و هم از نظر اجتماعی عادلانه باشند، بسیار مهم است (Bahamazava, 2025).

یکی از مهم‌ترین کاربردهای هوش مصنوعی در حمل‌ونقل عمومی، بهینه‌سازی زمان‌بندی و برنامه‌ریزی مسیر است. الگوریتم‌های یادگیری ماشین، به‌ویژه آن‌هایی که از شبکه‌های عصبی و یادگیری تقویتی استفاده می‌کنند، برای تجزیه‌وتحلیل حجم وسیعی از داده‌ها، از جمله تاریخچه مسافران، الگوهای ترافیکی و اطلاعات حمل‌ونقل در زمان واقعی، مورداستفاده قرار می‌گیرند. این الگوریتم‌ها می‌توانند به‌صورت پویا برنامه‌ها و مسیرها را تنظیم کنند تا کارایی را افزایش داده و تأخیرها را کاهش دهند و اطمینان حاصل کنند که خدمات حمل‌ونقل عمومی قابل‌اعتمادتر و به‌موقع‌تر هستند (Elassy et al., 2024). نگهداری آینده‌نگرانه یکی دیگر از حوزه‌های حیاتی است که هوش مصنوعی در آن پیشرفت‌های قابل‌توجهی داشته است. با استفاده از تجزیه‌وتحلیل‌های آینده‌نگرانه مبتنی بر هوش مصنوعی و تکنیک‌های

تشخیص ناهنجاری، سازمان‌های حمل‌ونقل می‌توانند صدا و کارایی وسایل نقلیه و زیرساخت‌های خود را در زمان واقعی کنترل نمایند (Theissler et al., 2021). از سوی دیگر، این امر امکان شناسایی زودهنگام مشکلات بالقوه را فراهم می‌کند و امکان نگهداری پیشگیرانه را فراهم می‌نماید که زمان ازکارافتادگی را به حداقل می‌رساند و طول عمر دارایی‌های حمل‌ونقل را افزایش می‌دهد. در نتیجه، هزینه‌های عملیاتی کاهش می‌یابد و ایمنی و قابلیت اطمینان کلی سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی بهبود می‌یابد (Shaygan et al., 2022). افزون بر این، هوش مصنوعی در مدیریت علائم راهنمایی و رانندگی و اولویت‌بندی وسایل نقلیه حمل‌ونقل عمومی نقش مهمی دارد. سیستم‌های کنترل تطبیقی علائم راهنمایی و رانندگی از هوش مصنوعی برای تجزیه‌وتحلیل شرایط ترافیک در زمان واقعی و تنظیم زمان‌بندی علائم راهنمایی و رانندگی برای به حداقل رساندن تأخیر اتوبوس‌ها و تراموا‌ها استفاده می‌نمایند. این امر نه‌تنها به‌موقع بودن حمل‌ونقل عمومی را بهبود می‌بخشد، بلکه به کاهش ازدحام ترافیک و انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز کمک نموده و به محیط‌های شهری پایدارتر کمک می‌کند (Zhang & Qian, 2020). رسیدگی به انحرافات سرفاصله زمانی، جنبه‌ای حیاتی در بهبود نظم و قابلیت اطمینان خطوط حمل‌ونقل عمومی است. انحرافات سرفاصله زمانی – تغییرات در فواصل زمانی بین وسایل نقلیه متوالی – به‌طور قابل‌توجهی بر کیفیت خدمات و رضایت مسافران تأثیر می‌گذارد. در مرحله طراحی، می‌توان چندین استراتژی را برای کاهش این انحرافات پیاده‌سازی کرد. یک رویکرد مؤثر، استفاده از تکنیک‌های بهینه‌سازی مبتنی بر هوش مصنوعی است. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند داده‌های تاریخی مربوط به ورود و خروج وسایل نقلیه را تجزیه‌وتحلیل کنند، الگوها را شناسایی کرده و انحرافات احتمالی را پیش‌بینی نمایند. با درک این الگوها، آژانس‌های حمل‌ونقل می‌توانند برنامه‌هایی را طراحی کنند که در برابر اختلالات مقاوم‌تر باشند. به‌عنوان‌مثال، یادگیری تقویتی می‌تواند برای تنظیم پویای زمان اعزام وسایل نقلیه اعمال شود و سرفاصله زمانی ثابت‌تری را حتی در شرایط ترافیکی متغیر تضمین کند، می‌پردازد (Lukic Vujadinovic et al., 2024). همچنین، هوش مصنوعی فرصت‌هایی را برای غلبه بر ناکارآمدی خدمات حمل‌ونقل تک‌منظوره با ادغام آن‌ها در خدمات چندوجهی ارائه می‌دهد (Schulz et al., 2020; Willing et al., 2017). این نوآوری‌ها نه‌تنها نحوه جابجایی مردم از مکانی به مکان دیگر و استفاده از منابع را تغییر می‌دهند، بلکه عصر جدیدی از حمل‌ونقل را آغاز می‌کنند که چشم‌انداز خدمات حمل‌ونقل را از مالکیت خصوصی به مالکیت مشترک تغییر می‌دهد (Li et al., 2025).

سیستم‌های مدیریت ترافیک مبتنی بر هوش مصنوعی نقش مهمی در رفع ازدحام و بهبود کارایی شبکه جاده‌ای دارند. الگوریتم‌های پیشرفته یادگیری ماشین، داده‌های بلادرنگ حسگرها، دوربین‌ها و دستگاه‌های جی‌پی‌اس را تجزیه‌وتحلیل می‌کنند تا الگوهای ترافیکی را پیش‌بینی نموده و سیگنال‌های ترافیکی را به‌صورت پویا تنظیم نمایند. این سیستم‌ها به کاهش تأخیرها، بهبود بهره‌وری سوخت و کاهش انتشار کربن کمک می‌نمایند. افزون بر این، برنامه‌های ناوبری مبتنی بر هوش مصنوعی به مسافران در انتخاب سریع‌ترین و کارآمدترین مسیرها، به حداقل رساندن زمان سفر و کاهش استرس مرتبط با رفت و آمد روزانه کمک می‌کنند. پذیرش وسایل نقلیه خودران، یکی دیگر از پیشرفت‌های قابل‌توجه در حمل‌ونقل شهری است. هوش مصنوعی، خودروهای خودران را قادر می‌سازد تا در جاده‌های شهر حرکت کنند، موانع را تشخیص دهند و تصمیمات رانندگی را در لحظه بگیرند، ایمنی جاده‌ها را افزایش داده و خطاهای انسانی را کاهش دهند. راه‌حل‌های حمل‌ونقل عمومی خودران، مانند اتوبوس‌ها و سرویس‌های شاتل مبتنی بر هوش مصنوعی، برای ارائه گزینه‌های جابجایی کارآمد و مقرون‌به‌صرفه در مناطق شهری درحال‌توسعه هستند. این پیشرفت‌ها به کاهش ازدحام ترافیک و بهبود دسترسی، به‌ویژه برای افراد دارای معلولیت و شهروندان مسن، کمک می‌نمایند. سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی نیز از تکنیک‌های بهینه‌سازی مبتنی بر هوش مصنوعی بهره‌مند می‌شوند. هوش مصنوعی، برنامه‌ریزی مسیر،

پیش‌بینی تقاضا و مدیریت ناوگان را بهبود می‌بخشد و ارائه خدمات بهتر را تضمین می‌کند. هوش مصنوعی با تجزیه‌وتحلیل داده‌های مسافران، به مسئولین حمل‌ونقل عمومی کمک می‌کند تا برنامه‌ریزی را بهبود بخشند، زمان انتظار را کاهش دهند و تخصیص وسایل نقلیه را بهینه کنند. علاوه بر این، هوش مصنوعی با تطبیق مسافران با مسیرهای کارآمد، کاهش تعداد وسایل نقلیه خصوصی در جاده‌ها و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، رشد پلتفرم‌های اشتراک‌گذاری خودرو را تسهیل می‌نماید. پایداری یکی از محورهای اصلی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری مدرن است و هوش مصنوعی نقش حیاتی در دستیابی به اهداف زیست‌محیطی ایفا می‌کند. زیرساخت هوشمند خودروهای الکتریکی، که توسط سیستم‌های مدیریت انرژی مبتنی بر هوش مصنوعی پشتیبانی می‌شود، مکان‌یابی و استفاده کارآمد از ایستگاه‌های شارژ را تضمین می‌نماید. همچنین، راهکارهای مبتنی بر هوش مصنوعی به نظارت بر کیفیت هوا کمک کرده و اتخاذ روش‌های حمل‌ونقل پایدار مانند دوچرخه‌سواری و پیاده‌روی را تشویق می‌کنند (Ahmed & Badi, 2025;Tahir & Rasool, 2025).

پیشینه پژوهش نشان‌دهنده آن است که سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند با به‌کارگیری هوش مصنوعی، داده‌های بلادرنگ و فناوری‌های دیجیتال و همه‌جاگستر، تحول عمیقی در مدیریت و بهینه‌سازی حمل‌ونقل شهری ایجاد نموده‌اند. هوش مصنوعی کاربردهای گسترده‌ای در بهینه‌سازی مسیر، زمان‌بندی پویا، نگهداری پیش‌بینی‌شده و مدیریت ترافیک دارد. همچنین، نقش کلیدی در خدمات اشتراکی (خودرو، دوچرخه) و وسایل نقلیه خودران نیز ایفا نموده و به کاهش ازدحام، انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش ایمنی کمک می‌کند. درعین‌حال، همکاری هوش مصنوعی با فناوری‌هایی از جمله اینترنت اشیا، بلاک چین و محاسبات ابری، امکان تحلیل پیش‌بینی کننده و ارائه خدمات پاسخگوتر را فراهم می‌نماید. افزون بر این، هوش مصنوعی در بهبود قابلیت اطمینان حمل‌ونقل عمومی از راه کنترل انحرافات سرفاصله زمانی و اولویت‌دهی به وسایل نقلیه عمومی مؤثر است. همین‌طور این سیستم‌ها تسهیل‌کننده انتقال از مالکیت خصوصی به مدل‌های تحرک مشترک و چندوجهی هستند. هوش مصنوعی در پایداری حمل‌ونقل از جمله در مدیریت شارژ خودروهای الکتریکی و تشویق به شیوه‌های پایدار جابجایی نیز نقش مهمی دارد. باوجوداین، ادغام و یکپارچگی این فناوری‌ها با چالش‌هایی از قبیل مسائل اخلاقی، نظارتی و خطر تشدید نابرابری‌های اجتماعی همراه است. در نهایت، موفقیت این سیستم‌ها مستلزم درک جامع از تعامل فناوری‌های مکمل و توجه به مؤلفه مهم عدالت اجتماعی در طراحی راه‌حل‌های شهری است.

روش پژوهش

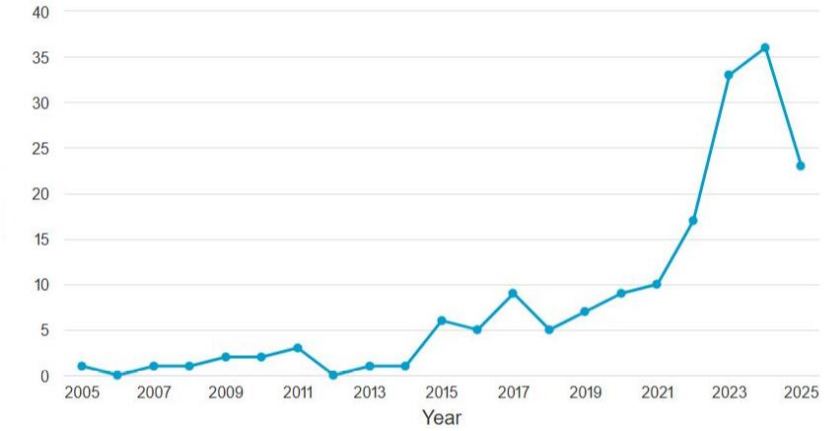
پژوهش حاضر از لحاظ روش، توصیفی – تحلیلی با رویکرد علم‌سنجی کیفی-کمی است؛ چرا که علاوه بر توصیف الگوهای تحلیل اسنادی، هم‌رخدادی کلیدواژگان، همپوشانی و تراکم واژگان، به شناسایی خوشه‌های مفهومی و ارتباط معنایی خوشه‌های مفهومی هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری و همین‌طور شناسایی شکاف‌های پژوهشی و جهت‌گیری‌های آینده، اقدام شده است. همچنین، این پژوهش، از نظر هدف جزء تحقیقات کاربردی به شمار می‌آید. جامعه آماری مشتمل بر تمام منابع نمایه شده در پایگاه اسکوپوس از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۴ می‌باشد که ۱۷۲ منبع را شامل می‌شود. در واقع، مبنای تحقیق حاضر، پژوهش‌هایی است که در ۲۰ سال اخیر انجام‌شده است. برای بازیابی اسناد، یک جست‌وجوی ساختاریافته با هدف پوشش گسترده‌ترین معانی ممکن از دو مفهوم کلیدی، به این صورت انجام پذیرفت:
TITLE-ABS-KEY ("artificial intelligence" OR "AI" OR "machine learning" OR "deep learning" OR "neural network" OR "intelligent system") AND (TITLE-ABS-KEY ("sustainable urban

transport" OR "sustainable mobility" OR green transport" OR "eco-friendly urban mobility" OR "low-carbon urban transport")". علت انتخاب اسکوپوس آن است که این پایگاه علمی در ر نرم‌افزار VOSviewerمبادرت به تجزیه‌وتحلیل داده‌ها شده است که مزیت مهم آن، پردازش حجم عظیمی از داده‌ها و ترسیم نقشه شبکه بصری آن‌ها است. درعین‌حال، روش مذکور دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد که عبارت‌اند از: وابستگی به کلیدواژگان ارائه‌شده توسط نویسندگان یا نمایه‌گران و عدم پشتیبانی از تحلیل عمیق‌تر محتوایی از قبیل تحلیل متن کامل. خاطرنشان می‌شود، ۴۱/۹ درصد منابع، مقاله و سهم مقاله‌های مربوط به همایش‌ها و کنفرانس‌ها نیز معادل ۴۲/۴ درصد بوده است. افزون بر این، سهم فصل کتاب، ۱۰/۵ درصد، سهم منابع مروری، ۴/۷ درصد و سهم کتاب برابر با ۰/۶ درصد می‌باشد.

یافته‌ها

تحلیل زمانی

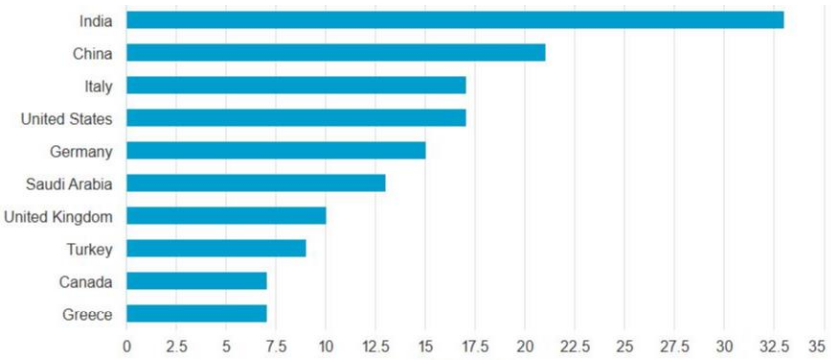
از لحاظ زمانی، تولید منابع علمی از یک الگوی رشد تدریجی (۲۰۰۵–۲۰۱۵) به رشد شتابان (۲۰۱ به بعد) تبعیت نموده است. عوامل شتاب‌گیری تولید دانش در این زمینه عبارت‌اند از: تحولات فناورانه در زمینه هوش مصنوعی (امکان کاربست پیشرفت‌های چشمگیر در یادگیری عمیق، پردازش زبان طبیعی، و سیستم‌های تصمیم‌گیری هوشمند از حدود ۲۰۱۸—۲۰۲۰ به بعد، در سیستم‌های حمل‌ونقل)؛ فشارهای سیاستی و زیست‌محیطی جهانی (توسعه راه‌حل‌های هوشمند برای کاهش ردپای کربن حمل‌ونقل پس از توافق‌های بین‌المللی مانند توافق پاریس (۲۰۱۵) و تقویت اهداف توسعه پایدار سازمان ملل، به‌ویژه هدف ۱۱ (شهرها و جوامع پایدار) و هدف ۱۳ (اقدامات اقلیمی))؛ توسعه شهرهای هوشمند (به‌کارگیری حمل‌ونقل مبتنی بر هوش مصنوعی به‌عنوان ابزاری کلیدی جهت بهینه‌سازی ترافیک، مدیریت ناوگان حمل‌ونقل عمومی و یکپارچه‌سازی سیستم‌های تحرک) و پاندمی کووید–۱۹ و تحولات در الگوهای حمل‌ونقل (ضرورت به‌کارگیری سیستم‌های حمل‌ونقل انعطاف‌پذیر، بدون تماس و پاسخگو با محوریت هوش مصنوعی). رشد شتابان تولید دانش از سال ۲۰۲۱ به بعد در حوزه کاربست هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری بیانگر تبدیل آن از یک ایده نوین به یک گرایش و جهت‌گیری پژوهشی غالب است. این تحول بازتاب پیشرفت‌های فناورانه و نمایانگر هم‌زمانی بحران‌های شهری، فشارهای اقلیمی و ظهور راهکارهای دیجیتال می‌باشد. ازاین‌رو، می‌توان سال ۲۰۲۱ را به‌عنوان سال آغازین تحول دیجیتال–پایدار در حمل‌ونقل شهری در ادبیات علمی تلقی نمود (شکل شماره ۱).



شکل ۱. روند زمانی انتشار منابع هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری

تحلیل جغرافیایی

توزیع جغرافیایی منابع، آینه‌ای از اولویت‌های جهانی در مواجهه با بحران‌های شهری و اقلیمی است. از لحاظ توزیع جغرافیایی منابع پژوهش، الگوی نابرابری از تولید دانش وجود دارد و در این الگوی نابرابر، کشورهای درحال‌توسعه با شهرنشینی شتابان (هند و چین) و کشورهای صنعتی پیشرفته دارای زیرساخت پژوهشی قوی (ایتالیا، ایالات‌متحده آمریکا و آلمان)، برجسته هستند. رهبری هند (۳۳ منبع) در تولید دانش، به علل مختلفی است که عبارت‌اند از: ۱) شهرنشینی شتابان و ترافیک انبوه: این امر ضرورت کاربست فوری راهکارهای هوشمند جهت مدیریت ترافیک و کاهش انتشارات آلودگی، را برجسته می‌سازد. ۲) سیاست‌های دولتی پشتیبان فناوری: اجرای برنامه‌هایی نظیر مأموریت شهرهای هوشمند از سال ۲۰۱۵ با هدف توسعه ۱۰۰ شهر هوشمند در هند با محوریت هوش مصنوعی، داده‌های کلان و سیستم حمل‌ونقل هوشمند حائز اهمیت است. ۳) رشد شتابان مؤسسات آموزشی و پژوهشی در هند: همکاری آن‌ها با صنعت، موجب تولید دانش کاربردی به‌خصوص در زمینه هوش مصنوعی و حمل‌ونقل پایدار شهری شده است. کشور چین (۲۱ منبع) نیز به علت ترکیب منحصربه‌فرد سیاست‌گذاری متمرکز، سرمایه‌گذاری گسترده در فناوری و چالش‌های زیست‌محیطی شهری، اهمیت ویژه‌ای به کاربست هوش مصنوعی در حمل‌ونقل داده است. کشورهایی مانند آمریکا، ایتالیا، آلمان، آمریکا و بریتانیا، به علت زیرساخت‌های پژوهشی قوی، تمرکز بر استانداردها و اخلاق فناوری و همکاری‌های میان‌رشته‌ای، در زمینه به‌کارگیری هوش مصنوعی در حمل‌ونقل شهری فعال هستند. برنامه‌های ملی چین برای شهرهای هوشمند و خودروهای الکتریکی، در این راستا ارزیابی می‌شود. عربستان سعودی (۱۳ منبع)، در سال‌های اخیر با برنامه چشم‌انداز ۲۰۳۰ و پروژه‌هایی مانند شهر آینده نئوم نیازمند سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند و بدون کربن مبتنی بر هوش مصنوعی است. چالش‌های ترافیکی و آلودگی در شهرهای استانبول و آنکارا، ترکیه را نیز به سمت بهره‌گیری از هوش مصنوعی در حمل‌ونقل سوق داده است (شکل شماره ۲).



شکل ۲. قلمرو جغرافیایی منابع پژوهش

تحلیل هم‌رخدادای واژگان، خوشه‌های مفهومی و تراکم واژگان

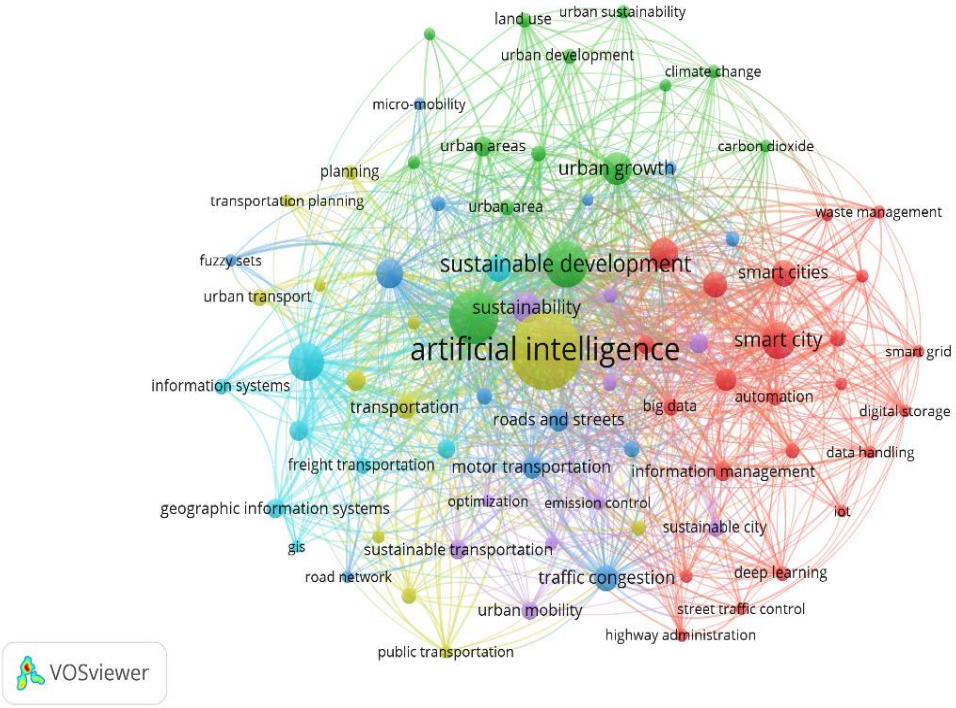
نقشه هم‌رخدادای واژگان هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری (شکل شماره ۳) بر مبنای اصول علم‌سنجی و تحلیل محتوای کمی بیانگر آن است که واژگان مرتبط با آن‌ها، از لحاظ سطح تکرار به سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند که عبارت‌اند از: واژگان پرتکرار، واژگان کمتر تکرار شده و واژگان با فراوانی بسیار کم (جدول شماره ۱). علت پرتکرار بودن برخی واژگان آن است که آن‌ها محورهای مفهومی، کاربردی و هدف‌محور حوزه پژوهشی را تشکیل داده‌اند؛ به این معنا که هوش مصنوعی به‌عنوان ابزار اصلی شناخته می‌شود، حمل‌ونقل شهری به‌مثابه حوزه کاربرد است و توسعه پایدار به‌عنوان هدف نهایی پژوهش، محسوب می‌شود. سؤال اصلی این است که این واژگان چگونه با همدیگر تعامل دارند؟

پاسخ آن است که آن‌ها به دنبال قرار دادن راه‌حل‌های هوشمند در چارچوب شهرهای پایدار و سیستم‌های تصمیم‌گیری یکپارچه هستند. کاربست هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری، همچنان در حال تکامل ساختاری است؛ به این معنا که هسته فناوری و هدف پایداری تا حدود زیادی شکل‌گرفته‌اند، درعین‌حال، برخی مؤلفه‌ها نظیر یکپارچگی عمیق‌تر زیست‌محیطی، عدالت اجتماعی در تحرک، یا کاربست خودروهای خودران در مراحل اولیه تکامل خود قرار دارند. بر همین مبنا، این مؤلفه‌ها می‌توانند به‌عنوان شکاف‌های پژوهشی آینده، مطرح شوند.

جدول ۱. طبقه‌بندی هم‌رخدادای واژگان هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری

سطح‌بندی	واژگان	تعداد تکرار	علت
واژگان پرتکرار	هوش مصنوعی	۱۷۲	فروانی بالای هوش مصنوعی (۱۷۲ بار) به‌عنوان هسته مفهومی و روش‌شناختی کل حوزه، بیانگر چارچوب فناورانه غالب در ادبیات پژوهش است. پژوهشگران از آن به‌عنوان یک ابزار یا رویکرد راه حل‌محور جهت تحقق حمل‌ونقل پایدار شهری، استفاده می‌نماید. این موضوع به‌وضوح نشان‌دهنده یک تحول دیجیتال در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل در حال وقوع است.
	حمل‌ونقل شهری و توسعه پایدار	به ترتیب ۸۳ و ۶۱	واژگان حمل‌ونقل شهری و توسعه پایدار، در رتبه‌های بعدی قرار دارند؛ آن‌ها به‌ترتیب به‌عنوان حوزه کاربردی و هدف نهایی پژوهش‌ها، شناخته می‌شوند. تکرار حمل‌ونقل بیانگر توجه به سیستم‌های درون‌شهری و تکرار توسعه پایدار نشانگر جهت‌گیری ارزشی این حوزه بر محور کاهش اثرات منفی محیطی، اجتماعی و اقتصادی حمل‌ونقل است. هم‌رخدادای این واژگان با هوش مصنوعی بر این امر صحه می‌گذارد که فناوری‌های هوشمند یک هدف نیستند بلکه وسیله‌ای برای دستیابی به توسعه پایدار هستند.
	سیستم‌های پشتیبان تصمیم و تصمیم	به ترتیب ۴۳ و ۲۶	علت قرار گرفتن واژگان سیستم‌های پشتیبان تصمیم و تصمیم در میان واژگان پرتکرار آن است که هوش مصنوعی در این حوزه جهت پشتیبانی از تصمیم‌های پیچیده و چندبعدی شهری به‌کاربرده می‌شود. فروانی واژگان مذکور بر این امر صحه می‌گذارد که کاربرد هوش مصنوعی در این حوزه بیشتر کاربردی – سیاست و نه فنی است. در واقع، این موضوع ضرورت یکپارچه نمودن داده‌های فنی با فرآیند برنامه‌ریزی شهری را آشکار می‌نماید، به‌خصوص هنگامی‌که تصمیم‌گیری‌های حمل‌ونقلی دارای آثار چندبعدی اجتماعی، اقتصادی و محیطی باشد.
	شهر پایدار، رشد شهری و برنامه‌ریزی شهری	به ترتیب ۳۹، ۳۱ و ۲۱	علت فراوانی شهر پایدار، رشد شهری و برنامه‌ریزی شهری آن است که حمل‌ونقل در ظرف شهر و در چارچوب رشد و توسعه شهرها قابل تحلیل است. واژگان مذکور این امر را تأیید می‌کنند که پژوهش‌های صورت گرفته، از سطح فنی سیستم‌های حمل‌ونقل، فراتر رفته‌اند و به مسائل و چالش‌های ساختاری شهرها از جمله پراکنده رویی شهری، مصرف انرژی و دسترسی‌پذیری، ورود کرده‌اند. هم‌رخدادای رشد شهری با هوش مصنوعی نشان‌دهنده آن است که از هوش مصنوعی به‌عنوان ابزاری برای مدیریت رشد هوشمند و پایدار شهرها استفاده‌شده است.
واژگان کمتر تکرار شده	داده‌های بزرگ، سیستم‌های یادگیری، یادگیری عمیق	به ترتیب ۹، ۸ و ۷	علت تکرار کم واژگانی نظیر داده‌های بزرگ، سیستم‌های یادگیری و یادگیری عمیق آن است که این فناوری‌ها به‌مثابه ابزار فنی یا روش‌های اجرایی درون چارچوب هوش مصنوعی محسوب می‌شوند. فراوانی پایین‌تر واژگان مذکور نکته مهی را آشکار می‌سازد، مبنی بر اینکه تمرکز ادبیات پژوهش بر کاربردهای کلان است و از توجه به جزئیات الگوریتمی، تا حد زیادی غفلت نموده است. به سخن بهتر، اولویت پژوهش‌ها بر سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی قرارگرفته است و جنبه‌های فنی و مهندسی در حاشیه قرارگرفته‌اند.
واژگان با فراوانی بسیار کم	کنترل انتشارات و وسایط نقلیه خودران	به ترتیب ۶ و ۵	علت فراوانی پایین واژگانی نظیر کنترل انتشارات و وسایط نقلیه خودران آن است که این مفاهیم به‌عنوان کاربردهای خاص یا نوظهور شناخته می‌شوند. در این میان، وسایط نقلیه خودران تنها ۵ بار تکرار شده‌اند، درحالی‌که انتظار برجستگی و پررنگ بودن این واژه در حوزه هوش مصنوعی و حمل‌ونقل می‌رفت. این موضوع نشانگر فاصله بین گفتمان رسانه‌ای و ادبیات دانشگاهی است و اینکه پژوهش‌ها همچنان بر سیستم‌های جمعی از جمله حمل‌ونقل عمومی تمرکز دارند. کنترل انتشارات، دی‌اکسید کربن، مدیریت منابع و محیط‌های شهری، نیز فراوانی پایینی دارند که علت آن ضعف در ادغام مستقیم شاخص‌های زیست‌محیطی در مدل‌های هوش مصنوعی است.

این الگوی هم‌رخدادی از سه طریق سه لایه مفهومی، ساختار مفهومی حوزه هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری را آشکار نموده است. این سه لایه، عبارت‌اند از: ۱) لایه فناوری: متشکل از هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء، یادگیری ماشین، داده‌های بزرگ، سیستم‌های یادگیری و یادگیری عمیق. ۲) لایه کاربردی – عملیاتی: مشتمل بر حمل‌ونقل شهری، انبوهی ترافیک، مدیریت داده‌ها و تحرک خرد. ۳) لایه سیاست‌گذاری و هدف‌گذاری: متشکل از توسعه پایدار، شهر پایدار و برنامه‌ریزی شهری. ازاین‌رو، حوزه نقش هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری یک حوزه میان‌رشته‌ای است که در تقاطع فناوری، شهرسازی و سیاست‌گذاری قرارگرفته است و تأثیرات آن‌ها به‌طور متقابل عمل می‌کند. هم‌رخدادی واژگان در این سه لایه نشان‌دهنده تمرکز بر ایجاد پیوند بین داده، تصمیم و پایداری است.

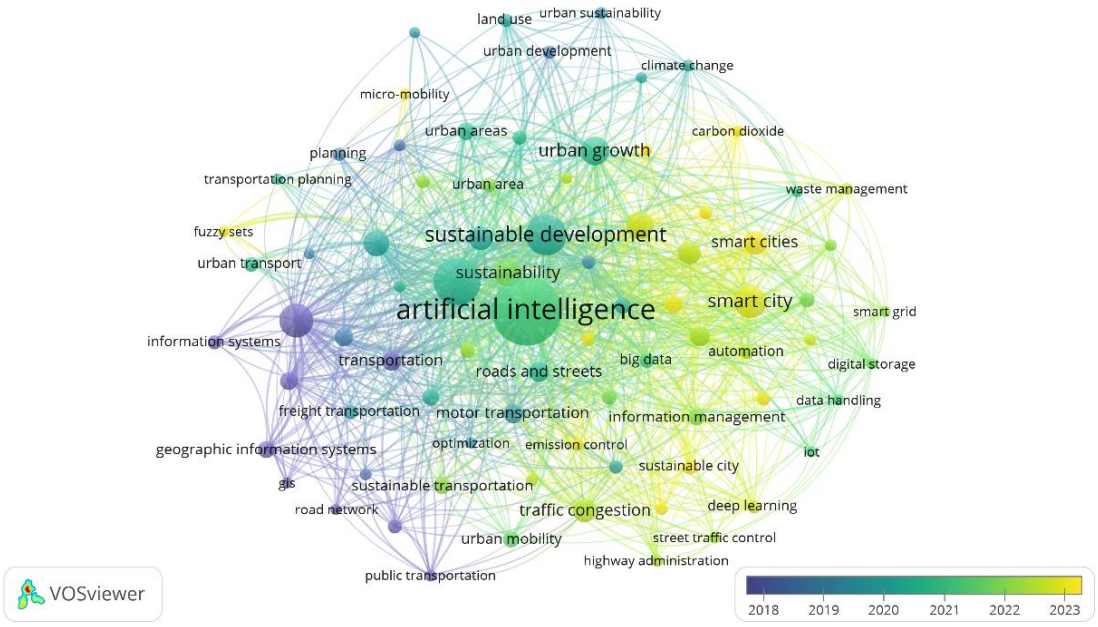


شکل ۳. نقشه هم‌رخدادای واژگان هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری

تحلیل نقشه همپوشانی واژگان هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری بیانگر آن است که ۸۳ آیتم در این حوزه وجود دارد که به ۶ خوشه طبقه‌بندی می‌شوند. خوشه نخست دارای ۲۳ آیتم، خوشه دوم دارای ۱۴ آیتم، خوشه سوم دارای ۱۳ آیتم، خوشه چهارم دارای ۱۲ آیتم، خوشه پنجم دارای ۱۰ آیتم، خوشه ششم دارای ۸ آیتم است (شکل شماره ۴). جدول شماره ۲، خوشه‌های مفهومی هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری را نشان داده است. به‌طورکلی، خوشه‌های جدول شماره ۲ بیانگر آن است که هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری یک موضوع میان‌رشته‌ای است که بر اساس آن فناوری، محیط‌زیست، رفتار انسانی، سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی شهری به‌صورت یک کل منسجم و یکپارچه عمل می‌کنند و بر همدیگر، تأثیرات متقابل دارند.

جدول ۲. شناسایی خوشه‌های مفهومی هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری

خوشه	عنوان	محورهای خوشه
نخست	فناوری‌های هوش مصنوعی و زیرساخت‌های دیجیتال	این خوشه به‌عنوان هسته فناوری پژوهش شناخته می‌شود و متشکل از مفاهیمی از قبیل هوش مصنوعی، یادگیری ماشینی، داده‌های بزرگ، اینترنت اشیاء و سیستم‌های هوشمند است. ازاین‌رو، خوشه حاضر بیانگر آن است که ابزارهای دیجیتال و هوشمند، مبنای اصلی کاربست هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری می‌باشند.
دوم	ابعاد زیست‌محیطی و پایداری	خوشه دوم بیانگر چارچوب هدف‌گذاری که همان دستیابی به توسعه پایدار است. تأکید بر واژگانی از جمله تغییر اقلیم، توسعه پایدار، پایداری و محیط شهری نشان‌دهنده آن است که هدف اصلی و نهایی این خوشه، کاهش پیامدهای زیست‌محیطی و تحقق توسعه پایدار شهری است.
سوم	تحرک و رفتار کاربران	خوشه سوم بر مدار ابعاد رفتاری و عملیاتی حمل‌ونقل است. تأکید بر واژگانی از قبیل وسایط نقلیه خودران، تصمیم‌گیری، تحقیق رفتاری و تحرک خرد نشانگر آن است که فناوری‌های هوشمند باید منطبق بر رفتار واقعی کاربران و ساختار شبکه تحرک باشد.
چهارم	سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل	محوریت خوشه چهارم مبتنی بر پیوند بین فناوری و سیاست‌گذاری است. این خوشه با تأکید بر واژگانی از جمله برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، حمل‌ونقل عمومی و تحرک پایدار مصداق ابعاد سیاستی و برنامه‌ریزی است.
پنجم	کارآمدی و بهینه‌سازی سیستم‌ها	مبنای خوشه پنجم مبتنی بر هدف‌های عملیاتی و به‌طور مشخص تحقق‌پذیری کاهش مصرف انرژی، کاهش زمان سفر و افزایش کارایی است. در واقع، این خوشه بر مدار بهینه‌سازی، زمان سفر و بهره‌برداری انرژی است.
ششم	سیستم‌های پشتیبان تصمیم و اطلاعات جغرافیایی	تأکید خوشه ششم بر واژگانی از قبیل سیستم‌های پشتیبان تصمیم و اطلاعات جغرافیایی و برنامه‌ریزی شهری بیانگر آن است که تصمیم‌گیری‌های حوزه برنامه‌ریزی شهری بر اساس مؤلفه‌های قابل‌اعتماد و فنی نظیر داده‌های مکانی و سیستم‌های پشتیبان صورت می‌پذیرد.



شکل ٤. نقشه همپوشانی واژگان هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری

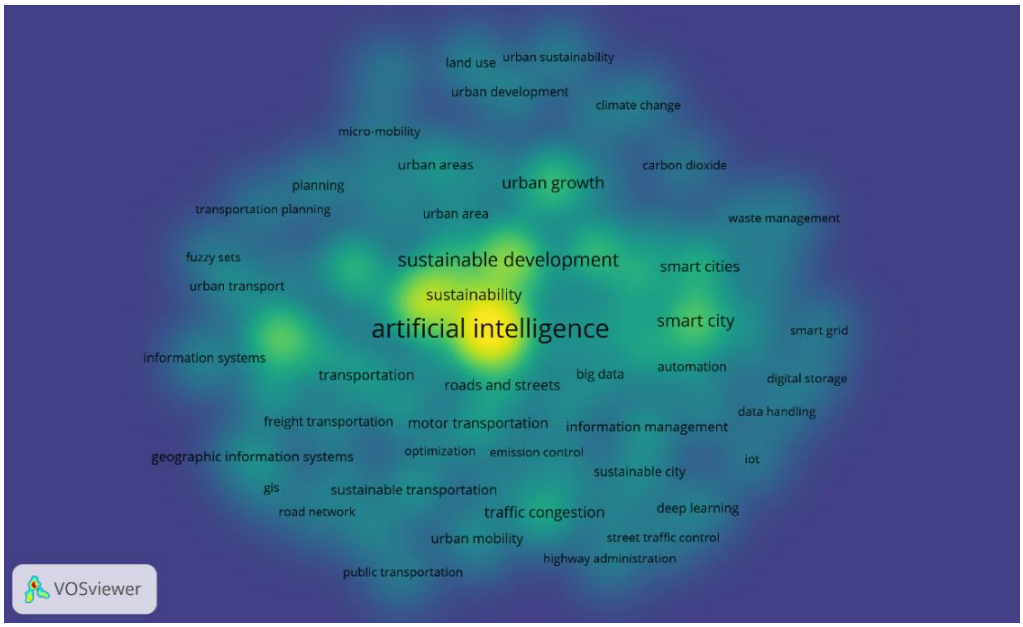
تحلیل خوشه‌های مفهومی شناسایی‌شده به درک ارتباطات معنایی آن‌ها، کمک شایان توجهی می‌نماید. بر این اساس، ارتباط معنایی خوشه‌های هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری، چنین است: ۱) خوشه نخست یا فناوری به‌عنوان مبنای فنی برای سایر خوشه‌ها، به‌حساب می‌آید. در واقع بدون آن، امکان پیاده‌سازی راه‌حل‌های پایدار وجود ندارد. ۲) خوشه دوم یا پایداری شهری به‌مثابه همان هدف نهایی است که سایر خوشه‌ها در جست‌وجوی تحقق آن هستند. ۳) خوشه‌های سوم تا ششم به‌عنوان لایه‌های واسط عمل می‌کنند که از راه رفتار کاربر، سیاست‌گذاری، بهینه‌سازی و

تصمیم‌گیری مکانی، فناوری را به هدف‌های پایداری متصل می‌نمایند (شکل شماره ۵).

شکل ۵. ارتباط معنایی خوشه‌های مفهومی هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری

نقشه تراکم واژگان ساختار موضوعی پژوهش‌های هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری را بررسی نموده است. نقشه تراکم واژگان نشانگر فراوانی و هم‌زمانی بهره‌گیری از واژگان کلیدی در منابع و اسناد علمی می‌باشد؛ چنان چه تراکم یک واژه یا خوشه‌ای از واژه‌ها بیشتر باشد، بیانگر آن است که این موضوع در ادبیات علمی به‌طور ویژه موردتوجه محققان قرارگرفته است. بر این اساس، واژه‌ها و موضوع‌هایی از جمله شهرهای هوشمند، اتوماسیون، مدیریت اطلاعات، مجموعه‌های فازی، یادگیری عمیق، تحرک خرد و کنترل انتشارات، به‌مثابه حوزه‌های نوظهور یا در حال رشد در تقاطع هوش مصنوعی و حمل‌ونقل پایدار شهری شناخته می‌شوند. این موضوع بیانگر آن است که تحقیقات اخیر به سمت استفاده از فناوری‌های نوین هوش مصنوعی با هدف بهبود کارآمدی، کاهش پیامدهای منفی محیطی و بهبود کیفیت سیستم‌های حمل‌ونقل، گرایش پیدا کرده‌اند. در این میان، شهرهای هوشمند، به‌عنوان چارچوب یکپارچگی فناوری‌های دیجیتال به‌خصوص در حوزه حمل‌ونقل، مطرح شده‌اند. اتوماسیون و یادگیری عمیق به‌عنوان زیرشاخه‌های هوش مصنوعی، نقش برجسته‌ای در بهینه ساختن سیستم‌های حمل‌ونقل به‌ویژه در زمینه مدیریت ترافیک، پیش‌بینی تقاضا و کنترل خودروهای خودران ایفا می‌کنند. مجموعه‌های فازی، به علت توانایی مدل‌سازی عدم قطعیت‌های ذاتی در رفتار کاربران حمل‌ونقل و شرایط محیطی، در تصمیم‌گیری‌های پایدار کاربرد پیدا کرده‌اند. تحرک خرد نظیر استفاده از دوچرخه‌های هوشمند، به‌عنوان یک راه‌حل کلیدی برای کنترل آلودگی هوا و پایداری محیطی به‌موازات هوش مصنوعی، موردتوجه برنامه‌ریزان قرارگرفته‌اند. افزون بر این، تأکید بر کنترل انتشارات نشان‌دهنده حساسیت پژوهش‌ها به اهداف توسعه پایدار و مؤلفه‌های زیست‌محیطی است و در این چارچوب از هوش مصنوعی به‌عنوان ابزاری جهت نظارت، پیش‌بینی و کاهش ردپای کربن سیستم‌های حمل‌ونقل، استفاده می‌شود. علاوه بر این، وجود خوشه‌های پر تراکم در واژگان هوش مصنوعی، توسعه پایدار و شهر پایدار بر این واقعیت صحه می‌گذارد که این سه حوزه به‌صورت متقاطع و

هم‌افزا در نظر گرفته شده‌اند. به سخن بهتر، هوش مصنوعی، تنها به‌عنوان یک ابزار فنی موردتوجه قرار نگرفته است بلکه به‌مثابه بخش لاینفک و جدایی‌ناپذیر چارچوب برنامه‌ریزی شهری پایدار و تحقق توسعه پایدار تلقی شده است. به‌بیان‌دیگر، این سه حوزه در یک چارچوب منسجم و یکپارچه موردتوجه پژوهشگران قرارگرفته‌اند و در این چارچوب، هوش مصنوعی به‌عنوان راهبر کلیدی تحقق اهداف توسعه پایدار به‌حساب می‌آید. همچنین، شهر پایدار صرفاً بر اساس مؤلفه‌های زیست‌محیطی تعریف نمی‌شود بلکه بر مبنای هوشمندسازی سیستم‌های شهری و به‌خصوص حمل‌ونقل، بازتعریف شده است (شکل شماره ۶).



شکل ٦. نقشه تراکم واژگان هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری

شناسایی شکاف‌های پژوهشی و جهت‌گیری‌های آینده

بر مبنای تحلیل‌های زمانی، جغرافیایی، هم‌رخدادی واژگان، تحلیل همپوشانی و تراکم واژگان، شناسایی خوشه‌های مفهومی و ارتباط معنایی آن‌ها، می‌توان شکاف‌های پژوهشی و جهت‌گیری‌های آینده را تعیین نمود. در جدول شماره ۳، به شکاف‌های پژوهشی اشاره شده است.

جدول ۳. شکاف‌های پژوهشی و جهت‌گیری‌های آینده هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری

محور	مصداق	تبیین
شکاف‌های پژوهشی	کم‌توجهی به مؤلفه‌های اجتماعی و عدالت در تحرک	با وجود پررنگ بودن واژگانی از قبیل توسعه پایدار و شهر پایدار، از توجه به مؤلفه‌هایی نظیر عدالت اجتماعی، دسترسی‌پذیری برای گروه‌های آسیب‌پذیر (مانند سالمندان، معلولان، کم‌درآمدها) و تفاوت‌های جنسیتی در الگوهای تحرک غفلت شده، چنان چه این واژگان به‌ندرت در خوشه‌ها یا واژگان پرتکرار مشاهده می‌شوند. این موضوع نشانگر شکاف عمیقی در رابطه با ادغام اصول عدالت اجتماعی در طراحی سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل می‌باشد.
	کمرنگ بودن جنبه‌های فنی- الگوریتم	واژگانی مانند یادگیری عمیق، داده‌های بزرگ و سیستم‌های یادگیری دارای فراوانی پایینی هستند. این موضوع نشانگر آن است که منابع عمدتاً بر جنبه‌های سیاستی و برنامه‌ریزی تأکید نموده‌اند و از توسعه الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای شهرهای کشورهای درحال‌توسعه، غفلت کرده‌اند.
	کم‌توجهی به فناوری‌های نوظهور	با وجود جریان رسانه‌ای و تبلیغات گسترده رسانه‌ها، فناوری‌های نوظهور و مشخصاً وسایط نقلیه خودران صرفاً پنج بار تکرار شده‌اند. همین‌طور کنترل انتشارات و ردپای کربن، چندان در

	مدل‌های هوش مصنوعی موردتوجه قرار نگرفته‌اند. این امر نشانگر آن است که یکپارچگی شاخص‌های کمی محیطی در سیستم‌های هوشمند؛ همچنان در مراحل ابتدایی است.
نبود تحلیل مقایسه‌ای بین‌المللی و زمینه‌محور	علیرغم اینکه توزیع جغرافیایی نمایانگر پیشتازی کشورهایی نظیر هند و چین است، درعین‌حال تحلیل چندانی در خصوص تأثیر زمینه‌های فرهنگی، اجتماعی، اقتصادی و نهادی بر نحوه کاربست هوش مصنوعی در حمل‌ونقل ارائه نشده است. ازاین‌رو، تعمیم‌پذیری یافته‌ها و طراحی راهکارهای زمینه محور، امکان‌پذیر نیست و با موانع جدی مواجه می‌باشد.

ازاین‌رو، کاربست هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری از یک ایده نوین و خلاقانه تبدیل به یک موضوع چندبعدی با محورها و ابعاد اجتماعی، اقتصادی، فنی، نهادی و زیست‌محیطی تبدیل‌شده است. باوجوداین، تمرکز بیش‌ازحد پژوهش‌ها بر جنبه‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی موجب شکاف‌هایی در ابعاد زیست‌محیطی، اجتماعی و الگوریتمی شده است. بر همین مبنا، پژوهش‌های آینده باید از راه تمرکز بر یکپارچه نمودن عمیق ابعاد مذکور، توسعه راهکارهای زمینه‌محور و بسط چارچوب‌های اخلاقی و عادلانه، این خلاءها را پوشش دهد تا بدین‌وسیله هوش مصنوعی در خدمت تحول عادلانه و پایدار شهرها قرار گیرد. در جدول شماره ۴، به جهت‌گیری‌های آینده اشاره شده است.

جدول ۳. جهت‌گیری‌های آینده هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری

محور	مصداق	تبیین
جهت‌گیری‌های آینده	گذار از هوش مصنوعی برای کارایی به سمت، هوش مصنوعی برای عدالت و دربرگیرندگی	پژوهش‌های آینده باید بر توسعه تأکید نمایند که ضمن بهینه نمودن ترافیک، تضمین دهنده عدالت در دسترسی به تحرک به‌خصوص برای گروه‌های حاشینه‌نشین و کم‌درآمد باشند.
	یکپارچگی شاخص‌های زیست‌محیطی در معماری هوش مصنوعی	پژوهش‌های آینده باید به سمت مدل‌های چندمعیاره حرکت کنند که در آن‌ها محوریت با کاهش انتشارات، مصرف انرژی و ردپای کربن به‌عنوان هدف‌های بهینه‌سازی مستقیم در الگوریتم‌های هوش مصنوعی باشد
	بسط الگوریتم‌های زمینه‌محور برای شهرهای درحال‌توسعه	پژوهش‌های آینده باید به سمت توسعه الگوریتم‌هایی برای شهرهای کشورهای درحال‌توسعه با ویژگی‌هایی نظیر ترافیک انبوه، زیرساخت‌های نامتوازن و تنوع شیوه‌های تحرک حرکت نمایند
	پژوهش‌های میان‌رشته‌ای عمیق‌تر در تقاطع فناوری، شهرسازی و اخلاق	پژوهش‌های آینده باید با محوریت گسترش همکاری‌های واقعی بین دانشمندان داده، برنامه‌ریزان شهری، جامعه‌شناسان و اخلاق‌دانان فناوری گسترش یابد. در این راستا باید تمرکز بر پاسخ به پرسش‌هایی ازاین‌قرار باشد: چه گروه‌هایی از سیستم‌های هوشمند منتفع می‌شوند؟. چگونه از سوگیری الگوریتمی در تصمیم‌گیری‌های حمل‌ونقل جلوگیری به عمل‌آورده شود؟.
	ارتقای نقش شهرهای هوشمند به‌عنوان آزمایشگاه‌های زنده	با توجه به برجستگی واژه شهرهای هوشمند در نقشه تراکم، پژوهش‌های آینده باید به ارزیابی تجربی راهکارهای هوش مصنوعی در محیط‌های واقعی شهری بپردازند تا بدین‌وسیله کارآمدی و اثربخشی واقعی، پذیرش اجتماعی و پایداری بلندمدت آن‌ها موردسنجش قرار گیرد.

بحث

یافته‌ها و نتایج پژوهش حاضر، با ادبیات جهانی موضوع، همخوانی زیادی دارد. درعین‌حال، به شناسایی شکاف‌های پژوهشی معناداری پرداخته که در تحقیقات گذشته، چندان موردتوجه قرار نگرفته‌اند. از لحاظ زمانی، رشد تدریجی و شتابان تولید دانش در زمینه هوش مصنوعی در حمل‌ونقل، همسو با تحولات فناورانه در منابعی از جمله (Ferreira dos Santos et al., 2025) و (Wang, 2024; Xia et al., 2025) است که نقش هوش مصنوعی در تحولات شهری را برجسته نموده‌اند. افزون بر این، عوامل شتاب‌دهنده‌ای از جمله توافق پاریس (۲۰۱۵) و پاندومی کووید – ۱۹ و توسعه شهرهای هوشمند در منابعی نظیر (Bahamazava, 2025) و (Xia et al., 2025) مورد تأیید قرارگرفته شده‌اند. از

لحاظ جغرافیایی، پیشگامی کشورهایی نظیر هند و چین، منطبق با گزاره‌هایی از جمله برنامه‌های ملی شهرهای هوشمند و سرمایه‌گذاری در فناوری (Li et al., 2025)، است. باوجوداین، پژوهش‌های جهانی هنوز تحلیل‌های زمینه‌محور در خصوص تأثیر شرایط محلی بر کاربست هوش مصنوعی ارائه نداده‌اند که پژوهش حاضر آن را به‌عنوان یک شکاف تحقیقاتی مهم معرفی نموده است. در سطح مفاهیم کلیدی، لایه‌های شناسایی‌شده متشکل از فناوری، کاربردی – عملیاتی و سیاست‌گذاری همخوانی زیادی با نتایج تحقیقاتی نظیر (Haji Amiri & Kusakci, 2024) و (Elassy et al., 2024) دارد که هوش مصنوعی را در تقاطع فناوری، شهرسازی و سیاست‌گذاری موردتوجه قرار داده‌اند. افزون بر این، درحالی‌که بیشتر پژوهش‌ها از جمله (Lukic Vujadinovic et al., 2024)، تمرکز خود را بر جنبه‌های فنی و بهینه‌سازی ترافیک، قرار داده‌اند، اما پژوهش حاضر، توجه ناکافی به مؤلفه‌هایی نظیر عدالت اجتماعی، دسترسی‌پذیری و عوامل زیست‌محیطی از جمله ردپای کربن، را پررنگ و برجسته ساخته است.

همین‌طور، با وجود جریان رسانه‌ای پیرامون وسایط نقلیه خودران، نتایج پژوهش‌ها نشان‌دهنده آن است که ادبیات دانشگاهی بر سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی جمعی تأکید دارد. این موضوع با یافته‌های تحقیقاتی نظیر (Ahmed & Badi, 2025) در خصوص اولویت عدالت و شمولیت، همسو می‌باشد. پژوهش‌های فنی (Shaygan et al., 2022) با وجودی که به الگوریتم‌های یادگیری عمیق توجه نموده‌اند اما کمتر به زمینه‌های شهرهای درحال‌توسعه با داشتن ویژگی‌هایی از قبیل ترافیک انبوه و زیرساخت‌های نامتوازن و نامتعادل، پرداخته‌اند. به‌طورکلی، پژوهش حاضر نه‌تنها دانش موجود را تأیید و ساختارمند کرده است بلکه شکاف‌های پژوهشی مهمی از جمله عدالت تحرک، یکپارچگی و انسجام مؤلفه‌های زیست‌محیطی و طراحی الگوریتم‌های زمینه‌محور را نیز آشکار ساخته است. به‌موازات این موضوع، جهت‌گیری‌های آینده‌ای را پیشنهاد داده است که در ادبیات موجود به‌اندازه کافی به آن‌ها، پاسخ داده نشده‌اند. این رویکرد، انتقال حوزه از هوش مصنوعی برای کارایی به هوش مصنوعی برای عدالت و پایداری را تسهیل می‌نماید و با تأکید بر رویکردهای میان‌رشته‌ای، چارچوبی جامع‌تر و یکپارچه برای تحول دیجیتال–پایدار در حمل‌ونقل شهری ارائه کرده است.

نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش نشانگر آن است که حوزه هوش مصنوعی در حمل‌ونقل پایدار شهری متحمل تغییرات گسترده‌ای شده است، چنان چه از یک ایده نوین در دهه اول سده حاضر به یک گرایش پژوهشی پویا و چندبعدی با رشد شتابان از سال ۲۰۲۱ تبدیل‌شده است. عواملی نظیر پیشرفت‌های دیجیتال، بحران‌های محیطی و فشارهای اقلیمی جهانی، توسعه شهرهای هوشمند و تحولات پس از پاندمی کووید–۱۹، این حوزه را به یک موضوع پویا و چندوجهی تبدیل نموده‌اند. افزون بر این، توزیع جغرافیایی منابع بیانگر پیشگامی کشورهایی نظیر هند، چین و ایالات‌متحده است که منعکس‌کننده اثرات شهرنشینی سریع و سیاست‌های ملی در تولید دانش است. بر مبنای تحلیل‌های علم‌سنجی شش خوشه مفهومی کلیدی در حوزه هوش مصنوعی در حمل‌ونقل شهری پایدار، آشکارشده است. این شش خوشه مفهومی مشتمل بر فناوری‌های هوش مصنوعی، مؤلفه‌های زیست‌محیطی و پایداری، رفتار کاربران و تحرک، سیاست‌گذاری حمل‌ونقل، بهینه‌سازی سیستم‌ها و سیستم‌های پشتیبان تصمیم هستند. درعین‌حال، مفاهیم نوظهور از جمله واژگانی مانند شهرهای هوشمند، یادگیری عمیق و تحرک خرد، به‌تازگی توجه پژوهشگران و سیاست‌گذاران را به‌طورجدی به خود جلب نموده‌اند. باوجوداین، جنبه‌های اجتماعی و الگوریتمی کمتر موردتوجه آن‌ها قرارگرفته‌اند. بر این اساس، هوش مصنوعی در

حمل‌ونقل پایدار شهری امروزه تنها به‌عنوان یک هدف فنی عمل نمی‌کنند، بلکه به یک ابزار یکپارچه برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار از راه پیوند داده‌ها، تصمیم‌گیری و پایداری تبدیل‌شده است. از دیدگاه نظری، پژوهش حاضر ضمن تثبیت حوزه هوش مصنوعی در حمل‌ونقل به‌عنوان یک موضوع میان‌رشته‌ای، ساختار مفهومی این حوزه را بر مدار سه لایه متشکل از فناوری، کاربرد و سیاست‌گذاری، ایجاد نموده است. از لحاظ عملی، یافته‌های این پژوهش به سیاست‌گذاران شهری، برنامه‌ریزان حمل‌ونقل و توسعه‌دهندگان فناوری کمک می‌نماید تا راهکارهای هوشمند را نه‌تنها از دیدگاه کارایی، بلکه بر مبنای توجه به مؤلفه‌های انسان‌محور و زمینه‌محور از قبیل عدالت، پایداری زیست‌محیطی و ویژگی‌های محلی طراحی نماید.

حامی مالی

این پژوهش فاقد حمایت مالی از هر سازمان یا نهادی بوده و به‌صورت مستقل توسط نویسنده انجام‌شده است.

سهم نویسندگان

نویسنده به‌تنهایی تمام مراحل این پژوهش شامل طراحی مطالعه، جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل اطلاعات، نگارش و ویرایش متن را انجام داده است.

تضاد منافع

نویسنده اعلام می‌دارد که هیچ‌گونه تضاد منافعی در رابطه با نگارش، انجام و انتشار این مقاله وجود ندارد.

تقدیر و تشکر

نویسنده از تمامی افرادی که در انجام این پژوهش به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم کمک کرده‌اند، به‌ویژه ارزیابان و داورانی که با نظرات سازنده خود به بهبود کیفیت مقاله کمک نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نماید.

References

Ahmed, S. F., Alam, S. B., Afrin, S., Rafa, S. J., Taher, S. B., & Kabir, M. (2024). Toward a Secure 5G-Enabled Internet of Things: A Survey on Requirements, Privacy, Security, Challenges, and Opportunities. *IEEE Access*, 12, 13125 – 13145. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3352508.

Ahmed, S., & Badi, S. (2025). Leveraging Artificial Intelligence for Sustainable Transportation Planning in Smart Cities. DOI:10.13140/RG.2.2.15301.15848.

Al-Raeei, M. (2024). The smart future for sustainable development: Artificial intelligence solutions for sustainable urbanization. *Sustainable Development*, 33(1), 508-517. https://doi.org/10.1002/sd.3131.

Bahamazava, K. (2025). AI-driven scenarios for urban mobility: Quantifying the role of ODE models and scenario planning in reducing traffic congestion. *Transport Economics and Management*, 1(2025), 92-103. https://doi.org/10.1016/j.team.2025.02.002.

Bijalwan, J. G., Singh, J., Ravi, V., Bijalwan, A., Alahmadi, T. J., Singh, P., Diwakar, M. (2024). Navigating the future of secure and efficient intelligent transportation systems using AI and blockchain. *Open Transportation Journal,* 18 (1), 1-20. DOI: 10.2174/0126671212291400240315084722.

Elassy, M., Al Hattab, M., Takruri, M., & Badawi, S. (2024). Intelligent transportation systems for sustainable smart cities. *Transportation Engineering*, 16(2024), 100252. https://doi.org/10.1016/j.treng.2024.100252.

Ferreira dos Santos, J. P. de Matos, C. A., & Groznik, A. (2025). The role of artificial intelligence in smart city systems usage: drivers, barriers, and behavioural outcomes. *Technology in Society,* 81 (2025), 102867. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2025.102867.

Haji Amiri, M., & Kuşakcı, A.O. (2024). A Scoping Review of Artificial Intelligence Applications in Airports. *Computational Research Progress in Applied Science & Engineering, CRPASE: Transactions of Industrial Engineering*, 10(2024), 1–12. https://doi.org/10.61186/crpase.10.2.2900.

Iyer, L.S. (2021). AI-enabled applications towards intelligent transportation. *Transport Engineer*, 5, 100083, https://doi.org/10.1016/j.treng.2021.100083.

Lartey, D., & Law, K. M.Y. (2025). Artificial intelligence adoption in urban planning governance: A systematic review of advancements in decision-making, and policy making. *Landscape and Urban Planning,* 258(2025), 105337. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2025.105337.

Li, M., Duan, S. X., & Molla, A. (2025). Artificial intelligence affordances for urban mobility. *Industrial Management & Data Systems*, 125(2025),1530-1553. https://doi.org/10.1108/IMDS-09-2024-0878.

Li, L., Lin, Y., Zheng, N., Wang, F., Liu, Y., Cao, D., Wang, K. & Huang, W. (2018). Artificial intelligence test: a case study of intelligent vehicles. *Artificial Intelligence Review*, 50(3), 441-465. doi: 10.1007/s10462-018-9631-5.

Liu, Y., & Xie, X. (2025). The application of artificial intelligence technology empower the development of green urban transportation. Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=5528305 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5528305.

Lukic Vujadinovic, V., Damnjanovic, A., Cakic, A., Petkovic, D.R., Prelevic, M., Pantovic, V., Stojanovic, M., Vidojevic, D., Vranjes, D., & Bodolo, I. (2024). AI-Driven Approach for Enhancing Sustainability in Urban Public Transportation. *Sustainability*, 16(2024), 7763. https://doi.org/ 10.3390/su16177763.

Luusua, A., Ylipulli, J., Foth, M., & Aurigi, A. (2022). Urban AI: understanding the emerging role of artifcial intelligence in smart cities. *AI & SOCIETY*, 38(2022),1039–1044. https://doi.org/10.1007/s00146-022-01537-5.

Macioszek, E., & Kurek, A. (2020). P&R parking and bike-sharing system as solutions supporting transport accessibility of the city. *Transport Problems*, 15(4, Part 2):275-286. DOI:10.21307/tp-2020-066.

Makanadar, A., Shahane, S. (2024). Smart Mobility and Cities 2.0: Advancing Urban Transportation Planning Through Artificial Intelligence and Machine Learning. In: Manoj, M., Roy, D. (eds) *Urban Mobility Research in India*. UMI2023 2023. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 551. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-8116-4_2

Nikitas, A., Michalakopoulou, K., Njoya, E.T. & Karampatzakis, D. (2020). Artificial intelligence, transport, and the smart city: definitions and dimensions of a new mobility era. *Sustainability*, 12 (7), 2789. https://doi.org/10.3390/su12072789.

Ogundare, E. (2024). Understanding the Mediating Role of Artificial Intelligence in Urban Transportation Planning for Smart City Development and its Implications for the United States. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 9(12). DOI:10.5281/zenodo.14613884.

Rahman, M., & Thill, J. (2023). Impacts of connected and autonomous vehicles on urban transportation and environment: A comprehensive review. *Sustainable Cities and Society*, 96(2023), 104649. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104649.

Salhi, A., Algarni, F., Alshamrani, R., Althbiti, A., Ismail, A., & Hassan, B. M. (2025). Leveraging artificial intelligence to enable sustainable urban development through the creation of smart and environmentally friendly carbon-free cities. *Sci Rep,* 15(2025), 35791. https://doi.org/10.1038/s41598-025-16801-z.

Shaygan, M., Meese, C., Li, W., Zhao, X., & Nejad, M. (2022). Traffic prediction using artificial intelligence: Review of recent advances and emerging opportunities. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 145(2022), 103921. https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103921.

Schulz, T., Bohm, M., Gewald, H., Celik, Z. & Krcmar, H. (2020). The negative effects of institutional logic multiplicity on service platforms in intermodal mobility ecosystems. *Business and Information Systems Engineering*, 62(5), 417-433. doi: 10.1007/s12599-020-00654-z.

Tahir, F., & Rasool, M. (2025). The Role of Artificial Intelligence in Urban Transportation for Smart City Development and Sustainable Transportation Planning. DOI:10.13140/RG.2.2.33756.09607.

Theissler, A., Velasquez, J.P., Kettelgerdes, M., & Elger, G. (2021). Predictive maintenance enabled by machine learning: Use cases and challenges in the automotive industry. *Reliability Engineering & System Safety*, 215(2021), 107864. https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107864.

Wang, Q. R. (2024). Towards zero-emission urban mobility: Leveraging AI and LCA for targeted interventions. *BUILD SIMUL*, 17 (2024), 1653–1657. https://doi.org/10.1007/s12273-024-1193-7.

Willing, C., Brandt, T., & Neumann, D. (2017). Intermodal mobility. *Business and Information Systems Engineering*, 59 (3), 173-179. doi: 10.1007/s12599-017-0471-7.

Xia, H., Liu, R., Li, L., & Zhang, Y. (2025). The Fundamental Issues and Development Trends of AI-Driven Transformations in Urban Transit and Urban Space. *Sustainable Cities and Society,* 1(2025), 106422. https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106422.

Yuan, Y., Shao, C., Cao, Z., He, Z., Zhu, C., Wang, Y., & Jang, V. (2020). Bus Dynamic Travel Time Prediction: Using a Deep Feature Extraction Framework Based on RNN and DNN. *Electronics*, 9(11), 1876. https://doi.org/10.3390/electronics9111876.

Zhang, P., & Qian, S. (2020). Path-based system optimal dynamic traffic assignment: A subgradient approach. Transportation Research Part B: Methodological. 134(2020), 41–63. https://doi.org/10.1016/j.trb.2020.02.004.

Zemmouchi-Ghomari, L. (2025). Artificial intelligence in intelligent transportation systems. *Journal of Intelligent Manufacturing and Special Equipment*, 6 (1), 26–42. https://doi.org/10.1108/JIMSE-11-2024-0035.