




Application of Industry 4.0 Technologies in Vehicle Routing Problem: A PRISMA-based Systematic Literature Review

Mahsa Pashang¹ , Seyed Hossein Razavi Hajiagha^{2✉} 

1. Department of Management, Faculty of Management and Financial Sciences, Khatam University, Tehran, Iran. Email: m.pashang@khatam.ac.ir
2. Corresponding author, Department of Management, Faculty of Management and Financial Sciences, Khatam University, Tehran, Iran. Email: h.razavi@khatam.ac.ir

Article Info

Article type:
Review Article

Article history:

Received 7 October 2025
Received in revised form 2 December 2025
Accepted 12 December 2025
Available online 22 December 2025

Keywords:

Vehicle Routing Problem,
Industry 4.0,
Systematic Literature Review,
Internet of Things,
Cyber- Physical Systems

ABSTRACT

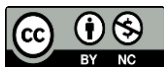
Objective: With the emergence of the Industry 4.0 paradigm and transformative technologies such as the Internet of Things, Cyber-Physical Systems, and Artificial Intelligence, the fields of logistics and fleet management are undergoing substantial changes. Nevertheless, the existing body of research remains fragmented and lacks of conceptual coherence in systematically examining the role, position, and underlying mechanisms through which these technologies influence both classical and complex variants of the Vehicle Routing Problem (VRP). Addressing this gap constitutes the primary motivation of the present study.

Method: This research adopts a Systematic Literature Review (SLR) methodology and strictly follows the PRISMA 2020 guidelines to collect, screen, and conduct an in-depth analysis of the relevant literature. A structured search across the Scopus, Web of Science, ProQuest, and other reputable scientific databases resulted in the selection and analysis of 27 representative studies published between 2011 and 2025.

Results: The findings reveal a significant gap between the growing complexity of algorithmic models proposed in the literature and the practical considerations required for their implementation within integrated Industry 4.0 ecosystems. To address this shortcoming, the study proposes a three- dimensional conceptual framework that captures the dynamic interaction among the nature of the problem, the role of technology, and the level of decision-making.

Conclusions: This framework not only synthesizes the existing literature at a higher conceptual level but also provides a structured direction for future research aimed at achieving deeper integration between Industry 4.0 technologies and vehicle routing problems.

Cite this article: Pashang, M., & Razavi Hajiagha, S.H. (2025). Application of Industry 4.0 Technologies in Vehicle Routing Problem: A PRISMA-based Systematic Literature Review. *Innovative Business Development Strategies*, 1(4), 1-42.



© Author(s) retain the copyright.

Publisher: Khatam University.

Introduction

In contemporary competitive business landscapes, optimizing goods flow and transportation decision-making has emerged as a cornerstone of logistics and supply chain management. The vehicle routing problem (VRP), first formulated in the 1950s by Dantzig and Ramser, stands as one of the most pivotal and computationally intensive challenges in operations research and combinatorial optimization. This classic problem seeks to determine efficient routes for a fleet of vehicles to serve customers while minimizing total travel distance or operational costs, a task that has gained renewed urgency amid escalating fuel prices, emissions regulations, and logistics expenses—which, per 2025 industry reports, account for 58% of total logistics costs. Despite decades of advancements in exact algorithms, metaheuristics, and hybrid methods, VRP remains NP-hard, with real-world extensions like dynamic demands, heterogeneous fleets, and environmental constraints amplifying its complexity. Existing literature reviews have extensively covered classical VRP variants—such as capacitated VRP (CVRP), time-window VRP (VRPTW), multi-depot VRP (MDVRP), heterogeneous fleet VRP (HFVRP), and green VRP (G-VRP)—alongside solution paradigms like machine learning-driven heuristics and reactive strategies for urban dynamic settings. However, these syntheses largely overlook the transformative intersection with Industry 4.0 technologies, including IoT for real-time sensing, AI/ML for predictive routing, cyber-physical systems (CPS) for integrated control, digital twins for simulation, and big data analytics. This results in conceptual fragmentation: VRP sub-problems lack clear delineation in Industry 4.0 contexts, enabling technologies' contributions remain ambiguous, and practical implementation gaps persist between algorithmic designs and operational realities. The absence of a systematic synthesis mapping these convergences motivates this review, providing a structured roadmap to consolidate disparate studies, reveal trends, and illuminate pathways for digital-native logistics.

Objectives and Research Questions

This systematic literature review aims to delineate the evolution and integration of VRP formulations with Industry 4.0 technologies, synthesizing evidence from 2011 to 2025 to clarify their synergies, dominant patterns, and unresolved challenges. Secondary objectives include categorizing VRP sub-problems and solution approaches under Industry 4.0 paradigms, evaluating technology-specific contributions across problem stages (input, modeling, solving, execution), and identifying gaps in modeling realism and deployment feasibility.

Guiding research questions prioritize analytical depth over hypotheses:

RQ1: Which Industry 4.0 technologies (e.g., IoT, AI/ML, CPS, digital twins) most prominently shape VRP variants, fleet configurations, and objective functions?

RQ2: What algorithmic innovations, particularly AI/ML hybrids and metaheuristics, demonstrate efficacy in data-rich, dynamic Industry 4.0 environments?

RQ3: What economic, environmental, and performance outcomes arise from these integrations, and where do theoretical models diverge from practical requirements?

These questions frame a targeted synthesis, emphasizing transparency and reproducibility to advance both scholarly discourse and industry applications.

Method

Adopting a hybrid systematic literature review (SLR) framework—integrating PRISMA 2020 for transparency with Marzi et al.'s (2025) SPAR-4-SLR for knowledge augmentation—this study ensures rigorous, reproducible evidence synthesis. Searches spanned Scopus, Web of Science (WoS), ProQuest, and Google Scholar, targeting peer-reviewed English-language articles from 2011 (Industry 4.0 inception) to 2025. The search string—"("vehicle routing" OR "vehicle routing problem" OR "VRP" OR "route optimization") AND ("Industry 4.0")"—yielded 163 initial records: 87 from Scopus, 32 from WoS/ProQuest each, and 12 from Google Scholar.

A three-stage screening process refined the corpus. Stage 1 eliminated 24 duplicates via CSV merging. Stage 2 applied inclusion/exclusion criteria (Table 1): direct relevance to ground-vehicle VRP with Industry 4.0 tech, top-50% Q1/Q2 journals per Scimago, empirical/analytical articles—discarding 87 unrelated theses, white papers, or non-English works. Stage 3 assessed full-text quality using the 10-item CASP checklist (Shahinfar et al., 2023), rating methodological rigor, transparency, and applicability; this excluded 51 low-quality or redundant studies, supplemented by 6 cross-referenced additions, yielding 27 final articles.

Data extraction coded six dimensions: VRP type (e.g., DVRP, CVRP), fleet homogeneity, objectives (cost/time/emissions), solution methods (exact/heuristic/metaheuristic/DRL), Industry 4.0 tech (IoT/AI/CPS), and outcomes (economic/environmental/performance). Thematic analysis via content coding and cross-validation by domain experts ensured bias minimization, with dual researcher verification confirming result stability.

Results

Analysis of the 27 studies reveals a concentrated focus on advanced VRP variants: CVRP (dominant at ~74%), TVRP, DVRP, and G-VRP, with 74.1% assuming homogeneous fleets to manage computational demands—a pattern underscoring modeling conservatism despite Industry 4.0's data abundance for heterogeneous scenarios (e.g., Govindan et al., 2024; Rahmanifar et al., 2023). Objectives blend economic priorities (cost: 22.2% single-objective; ubiquitous in multi-objective) with time/distance (18.5%/7.4%) and emissions (3.7%), where multi-objective models (13/27) favor cost-emissions (n=8) and time-distance (n=11) pairings (Figure 6 heatmap). Solution paradigms tilt toward scalability: metaheuristics/hybrids prevail (e.g., evolutionary algorithms, ALNS), augmented by AI/ML (22 instances; e.g., DRL, pointer networks, ML-VLGA) and exact methods (MIQP/Gurobi) for validation. Deep reinforcement learning emerges in dynamic contexts but sparingly, signaling nascent maturity. Industry 4.0 roles stratify by pipeline stage (Table 4): AI dominates solving (QAOA/QUBO for NP-hard cores); IoT (15 instances) fuels inputs via GPS/RFID/GNSS/V2V for real-time ETA/demand; CPS/digital twins (sparse) enable ERP-AGV integration and simulation. Outcomes emphasize performance gains (81.5%), cost/energy savings (66.7%), with environmental/social impacts secondary. Prominent gaps: scant heterogeneous fleet realism (25.9%); underexplored CPS/IoT architectures beyond data inputs; algorithm-testbed disconnects; limited sustainability multi-objectives. Conflicts arise in scalability claims versus real-world validation paucity.

Discussion and Implications

Theoretical implications consolidate Industry 4.0 as a catalyst for VRP evolution while revealing a significant gap: a predominant focus on IoT as a data-input enabler, often at the expense of deeper integration at the modeling and execution stages. This pattern underscores the underutilization of transformative technologies like digital twins and cyber-physical systems (CPS), highlighting that current research often treats Industry 4.0 as a supportive layer rather than a paradigm-shifting architecture. The findings position hybrid AI-metaheuristic approaches as crucial bridges between classical optimization and data-native logistics.

Practical implications derived from the synthesis suggest actionable pathways. Evidence indicates that integrating IoT-GPS for dynamic urban routing, deploying hybrid solvers to balance cost-emissions objectives, and implementing CPS-ERP architectures for automated warehouse synchronization are correlated with operational efficiency gains of 15-30% in

benchmarked studies. Furthermore, the literature emphasizes the potential of cross-sector testbeds and the integration of sustainability metrics into procurement frameworks as key enablers for next-generation green logistics.

Research implications and future directions emerge directly from the identified gaps. Four priority areas are delineated: (1) developing heterogeneous, multi-modal VRP models deeply fused with CPS-IoT architectures; (2) advancing field-validated algorithmic hybrids combining deep reinforcement learning and quantum-inspired optimization; (3) designing sustainability-centric models that integrate social equity dimensions alongside economic and environmental objectives; and (4) conducting longitudinal studies to assess the impact of these integrations on end-to-end supply chain resilience.

Conclusions

This SLR transcends a mere synthesis by diagnosing a core limitation in the current literature: the under-explored potential for Industry 4.0 to architecturally redefine VRP. In response, it contributes a three-dimensional conceptual framework that serves as both an analytical tool for understanding the state-of-the-art and a strategic roadmap for future work. By framing the evolution from technology-as-tool to technology-as-paradigm, this review provides scholars and practitioners with a structured foundation for advancing towards truly intelligent, adaptive, and sustainable logistics systems.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants in the present study.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.



کاربرد فناوری‌های صنعت ۴.۰ در مسیریابی وسایل نقلیه: مرور نظام‌مند ادبیات مبتنی بر چارچوب PRISMA

مهسا پشنگ^۱، سیدحسین رضوی حاجی آقا^۲ ✉

۱. گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و علوم مالی، دانشگاه خاتم، تهران، ایران. رایانامه: m.pashang@khatam.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و علوم مالی، دانشگاه خاتم، تهران، ایران. رایانامه: h.razavi@khatam.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله مروری	هدف: با ظهور الگوی صنعت ۴.۰ و فناوری‌های متحول‌کننده‌ای مانند اینترنت اشیا، سیستم‌های سایبری-فیزیکی و هوش مصنوعی، حوزه‌های لجستیک و مدیریت ناوگان دستخوش تغییرات اساسی شده‌اند. با این وجود، ادبیات پژوهشی موجود از پراکندگی و عدم انسجام مفهومی در بررسی نظام‌مند نقش، جایگاه و مکانیزم‌های اثرگذاری این فناوری‌ها بر مسائل پیچیده و کلاسیک مسیریابی وسایل نقلیه (VRP) برخوردار است که این شکاف، هدف اصلی مطالعه حاضر است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۵	روش پژوهش: پژوهش پیش رو، با به‌کارگیری روش‌شناسی مرور نظام‌مند ادبیات و با پیروی از دستورالعمل معتبر PRISMA ۲۰۲۰، به گردآوری، غربالگری و تحلیل عمیق ادبیات این حوزه می‌پردازد. جستجوی ساختاریافته در پایگاه‌های داده اسکوپوس، وب‌اوساینس، پروکوئست و دیگر پایگاه‌های علمی معتبر، در نهایت منجر به انتخاب و تحلیل ۲۷ مقاله شاخص در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۵ گردید.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۱	یافته‌ها: تحلیل محتوای مطالعات منتخب نشان داد که شکافی قابل توجه میان پیچیدگی فزاینده مدل‌ها و الگوریتم‌های ارائه‌شده در عرصه پژوهش، و ملاحظات عملیاتی ضروری برای پیاده‌سازی موفق آن‌ها در اکوسیستم‌های یکپارچه و واقعی صنعت ۴.۰ وجود دارد. به بیان دیگر، تمرکز غالب ادبیات بر بهینه‌سازی صرفاً الگوریتمی بوده و ابعاد اجرایی، یکپارچگی سامانه‌ای و الزامات زیرساختی کمتر مورد توجه قرار گرفته است.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۱	نتیجه‌گیری: در پاسخ به این خلاء، پژوهش حاضر یک چارچوب مفهومی سه‌بعدی پیشنهاد می‌دهد که تعامل پویا بین ماهیت مسئله، نقش فناوری و سطح تصمیم‌گیری را ترسیم می‌کند. این چارچوب، مسیری برای تحقیقات آتی در جهت تحقق ادغام عمیق‌تر این دو حوزه فراهم می‌سازد.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۰۱	
کلیدواژه‌ها: مسیریابی وسایل نقلیه، صنعت ۴.۰، مرور نظام‌مند ادبیات، اینترنت اشیا، سیستم‌های سایبری-فیزیکی.	

استناد: پشنگ، مهسا؛ رضوی حاجی آقا، سیدحسین (۱۴۰۴). کاربرد فناوری‌های صنعت ۴.۰ در مسیریابی وسایل نقلیه: مرور نظام‌مند ادبیات مبتنی بر چارچوب

PRISMA. راهبردهای نوآورانه توسعه کسب و کارها، ۱ (۴)، ۳۲-۱.



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه خاتم.

مقدمه

در کسب و کارهای رقابتی کنونی، مدیریت بهینه جریان کالا و تصمیم‌گیری کارآمد در حوزه حمل و نقل، به یکی از مسائل کلیدی در حوزه لجستیک تبدیل شده است. در این راستا، مسئله مسیریابی وسایل نقلیه (VRP) که برای نخستین بار در دهه ۱۹۵۰ مطرح شده، یکی از مهم‌ترین مسائل در تحقیق در عملیات و بهینه‌سازی ترکیبی است. این مسئله نقشی بنیادین در تعیین کاراترین مسیر برای ناوگان وسایل نقلیه جهت تحویل کالاها به مشتریان با کم‌ترین مسافت و هزینه دارد. در طی چند دهه اخیر این موضوع به یکی از پرکاربردترین موضوعات پژوهشی در حوزه لجستیک و مدیریت زنجیره تأمین تبدیل شده و باتوجه به افزایش روزافزون تمرکز بر کاهش آلاینده‌ها، مصرف سوخت و افزایش هزینه‌های عملیاتی مرتبط، اهمیت بیشتری پیدا کرده است (فرناندز گیل^۱، ۲۰۲۲). براساس گزارش‌های آماری صنعت لجستیک در سال ۲۰۲۵، حمل و نقل حدود ۵۸ درصد از کل هزینه‌های لجستیک را به خود اختصاص می‌دهد که این موضوع اهمیت بهینه‌سازی ناوگان و مسیریابی را دوچندان می‌سازد (گزارش کلیک‌پست، ۲۰۲۵)^۲ و هرگونه بهبود در کارایی مسیرها می‌تواند تأثیر مستقیم بر سودآوری سازمان داشته باشد.

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه به دلیل پیچیدگی محاسباتی بالا از دسته مسائل NP-hard محسوب شده و همواره به‌عنوان یکی از چالش‌های پژوهشی مهم شناخته می‌شود (مالاندراکی و داسکین^۳، ۱۹۹۲). با وجود پیشرفت‌های چشمگیر در الگوریتم‌های دقیق، روش‌های فراابتکاری و الگوریتم‌های ترکیبی، همچنان مسائل متعدد و متنوعی در ادبیات وجود دارند که کاملاً حل نشده‌اند. بر این اساس، هر دسته از مدل‌های ارائه‌شده برای حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه، با تغییر در برخی فرضیه‌های مدل اولیه، سعی در انطباق با برخی چالش‌ها و شرایط واقعی داشته‌اند.

تاکنون مطالعات مروری گسترده‌ای در زمینه مسائل VRP و اشکال توسعه‌یافته آن انجام شده است. تحقیقات مروری پیشین در این حوزه غالباً بر گونه‌های کلاسیک مانند VRP ظرفیت‌دار، با پنجره زمانی، چندهدفه و مسیریابی وسایل نقلیه سبز متمرکز بوده‌اند. همچنین توجه جداگانه‌ای به راه‌حل‌های یادگیری‌محور و الگوریتم‌های فراابتکاری صورت گرفته است (بومپا و همکاران، ۲۰۲۳). مقالات مروری دیگری نیز موضوعات پیچیده‌تری شامل مسیریابی وسایل نقلیه پویا و تصادفی در محیط‌های شهری را بررسی کرده‌اند و از پیشرفت‌هایی مانند یادگیری تقویتی، برنامه‌ریزی تقریبی و روش‌های واکنشی مدل‌محور صحبت کرده‌اند (ماردشیچ^۴ و همکاران، ۲۰۲۴). به‌طور خاص، در محیط‌های پویا و شهری شرایط به‌سرعت تغییر می‌کند: ترافیک ممکن است لحظه به لحظه متفاوت باشد، سفارش‌های جدید به صورت آنی وارد سیستم شوند و همچنین محدودیت‌های ناگهانی مانند بسته شدن خیابان یا شرایط آب‌وهوایی رخ دهند (ل‌آی‌یو، چن، پی‌یر و کو، ۲۰۲۳). موارد پیش‌آمده باعث شده‌اند که توجه به VRP پویا^۵ و زمان واقعی در مقالات اخیر افزایش یابد. ژانگ (۲۰۲۳) با مروری جامع بر ادبیات VRP پویا با درخواست‌های تصادفی، به افزایش چشمگیر تعداد مقالات منتشرشده در این حوزه در دو دهه اخیر پرداخته است و بر اهمیت توسعه روش‌های حل مناسب تأکید می‌کند. با این وجود مطالعه مروری جداگانه‌ای پیرامون کاربرد فناوری‌های صنعت ۴.۰ در مسائل مسیریابی مشاهده نشده است.

در سال‌های اخیر، با گسترش فناوری‌های صنعت ۴.۰، افق تازه‌ای پیش روی حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه گشوده شده است به طوری که لجستیک ۴.۰ به‌عنوان شاخه‌ای کاربردی از صنعت ۴.۰، به‌دنبال استفاده از داده‌های لحظه‌ای، ارتباطات هوشمند و شبیه‌سازی‌های دیجیتال برای بهبود فرآیندهای حمل و نقل و توزیع است (ایوانف و دولگوی^۶، ۲۰۲۱). نقش این فناوری‌ها در مسیریابی وسایل نقلیه بسیار چشم‌گیر است. برای مثال، با استفاده از اینترنت اشیا و حسگرهای متصل به وسایل نقلیه، داده‌هایی درباره موقعیت، سرعت، میزان سوخت یا سطح شارژ خودروهای برقی جمع‌آوری می‌شود. این داده‌ها در لحظه امکان تصمیم‌گیری و بازتنظیم مسیرها را فراهم می‌کنند. از سوی دیگر، کلان داده و الگوریتم‌های یادگیری ماشین به وسیله تحلیل داده‌های گذشته و حال، الگوهای ترافیکی یا رفتار مشتریان را پیش‌بینی کرده و به طراحی مسیرهایی دقیق‌تر کمک کنند. فناوری دوقلوی دیجیتال

1. Fernández Gil

2. Clickpost, 2025

3. Malandraki & Daskin

4. Mardešić, N., Erdelić

5. Dynamic VRP

6. Ivanov & Dolgui

نیز به‌عنوان یکی از نوآوری‌های کلیدی، امکان شبیه‌سازی و آزمون راهکارهای مختلف مسیریابی در یک محیط مجازی را پیش از پیاده‌سازی واقعی فراهم می‌سازد (کیو^۱ و همکاران، ۲۰۲۳).

با وجود کاربردهای گسترده فناوری‌های صنعت ۴.۰ در مسائل مسیریابی وسایل نقلیه، تاکنون مطالعه‌ای به طور خاص بر پیوند میان مسیریابی وسایل نقلیه و فناوری‌های صنعت ۴.۰ متمرکز نبوده است. بنابراین، انجام یک مرور نظام‌مند برای شناسایی شکاف‌های موجود با بررسی نقاط تلاقی مسیریابی وسایل نقلیه با فناوری‌های صنعت ۴.۰ می‌تواند مسیرهای آینده پژوهش را ترسیم نماید. از این‌رو، با توجه به سرعت تحولات فناوری، نیاز به یک نقشه راه شفاف که نشان دهد کدام فناوری‌ها بیشترین تأثیر را بر گونه‌های مسیریابی وسایل نقلیه گذاشته‌اند و چه حوزه‌هایی همچنان نیازمند پژوهش هستند، بیش از پیش احساس می‌شود. هدف اصلی این مطالعه، ارائه تصویری جامع و نظام‌مند از همگرایی VRP و فناوری‌های صنعت ۴.۰ است. پرسش‌های کلیدی که این مقاله به دنبال پاسخ به آنهاست عبارت‌اند از:

۱. کدام فناوری‌های صنعت ۴.۰ مانند اینترنت اشیا، پردازش ابری و لبه‌ای، دوقلوی دیجیتال و یادگیری ماشین بیشترین نقش را در تحول گونه‌ها و روش‌های حل VRP داشته‌اند؟

۲. چه الگوهای الگوریتمی نوین، به‌ویژه روش‌های یادگیری محور و بهینه‌سازی ترکیبی، توانسته‌اند در محیط‌های داده‌محور و پویا عملکرد موفقی داشته باشند؟

۳. پیامدهای ناشی از این تحولات در زمینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی چه بوده است؟

برای پاسخ به این پرسش‌ها، در مقاله حاضر به یک مرور نظام‌مند ادبیات مبتنی بر چارچوب مارزی و همکاران (۲۰۲۵) و پیروی از الگوی PRISMA 2020 اقدام شده است. پروتکل PRISMA به دلیل تأکید بر شفافیت، بازتولیدپذیری و استانداردسازی مراحل مرور نظام‌مند، یکی از معتبرترین رویکردها برای گردآوری و تحلیل شواهد علمی است (پیچ^۲ و همکاران، ۲۰۲۱). که جزئیات روش‌شناسی در بخش مربوطه ارائه شده است.

ادامه مقاله به‌صورت زیر سامان‌دهی شده است. در بخش دوم مبانی نظری مرتبط با تحقیق مرور شده‌اند. در بخش سوم روش‌شناسی تحقیق به‌صورت تفصیلی تشریح شده است. بخش چهارم به ارائه یافته‌های تحقیق می‌پردازد. در نهایت مقاله با بحث و نتیجه‌گیری یافته‌ها در بخش پنجم به پایان می‌رسد.

ادبیات موضوع و پیشینه پژوهش

مسیریابی وسایل نقلیه

یکی از اهداف اصلی و همیشگی شبکه‌های توزیع، بهینه‌سازی زمان‌بندی وسایل نقلیه است (کاظمی، محمدی زنجیرانی و اسماعیلیان، ۱۴۰۰). استفاده از روش‌های علمی و معقول جهت بهینه‌سازی مسیر وسایل نقلیه امری بسیار مهم در مسائل توزیع است که به‌طور مستقیم بر سرعت، زمان و هزینه‌ی توزیع تأثیر می‌گذارد (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۱). از این‌رو، مسأله مسیریابی وسیله‌ی نقلیه به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین مسائل در مدیریت زنجیره تأمین مطرح می‌شود. مسأله مسیریابی وسایل نقلیه که یکی از پرکاربردترین مسائل بنیادی در حوزه بهینه‌سازی و مدیریت زنجیره تأمین است، نخستین بار توسط دنتزیگ و رمسر (۱۹۵۹) مطرح شد و هدف آن تعیین مسیرهای بهینه برای ناوگانی از وسایل نقلیه به‌منظور خدمت‌دهی به مجموعه‌ای از مشتریان، با توجه به حداقل ساختن هزینه کل شامل مسافت طی‌شده یا زمان سفر می‌باشد. مسأله مسیریابی وسیله نقلیه، یک مسأله بهینه‌سازی ترکیبیاتی سخت است که هدف آن یافتن مجموعه‌ای از مسیرهای موجه برای ناوگانی از وسایل نقلیه است که محصولات یا خدماتی را از نقطه‌ای خاص به مجموعه‌ای از مشتریان می‌رسانند. وسایل نقلیه باید پس از تحویل محصولات، به محل اولیه

¹. Qiu

². Page

بازگردند، هر یک دارای ظرفیتی محدود بوده و هر مشتری تنها توسط یک وسیله پوشش داده می‌شود. در عمل، هدف این مسئله، معادل حداقل‌سازی مسافت طی شده‌ی کل است (بیکر و ایچو^۱، ۲۰۰۳). مسئله مسیریابی کلاسیک به صورت زیر مدل‌سازی می‌شود:

- مجموعه‌ها:

N : مجموعه مشتریان

V : مجموعه گره‌ها شامل انبار و مشتریان

K : مجموعه وسایل نقلیه

- پارامترها:

c_{ij} : هزینه یا فاصله حرکت از مشتری i به مشتری j

q_j : تقاضای مشتری j

Q : ظرفیت هر وسیله نقلیه

- متغیر تصمیم:

x_{ij}^k : اگر وسیله نقلیه k از i به j برود، ۰ در غیر این صورت

u_j : بار تجمعی هنگام رسیدن به مشتری j (برای جلوگیری از زیرتور)

تابع هدف مسئله VRP به صورت زیر فرموله می‌شود:

$$\min \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{ij} x_{ij}^k \quad (1)$$

تابع هدف مدل مجموع هزینه (مسافت) جابه‌جایی خودروها میان مشتریان را کمینه می‌کند.

محدودیت‌های مسئله نیز به ترتیب زیر فرموله می‌شوند. نخست آن که هر مشتری باید دقیقاً یک‌بار خدمت‌دهی شود.

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N x_{ij}^k = 1, \forall j \in N \quad (2)$$

ورود و خروج وسیله نقلیه از هر گره باید برابر باشد. در واقع خودروی ورودی به هر گره باید از آن گره خارج شود.

$$\sum_{i=1}^N x_{ij}^k = \sum_{j=1}^N x_{ij}^k, \forall k \in K, \forall j \in N \quad (3)$$

هر وسیله نقلیه باید فقط یک بار انبار را ترک و یک بار بازگردد.

$$\sum_{j=1}^N x_{0j}^k = 1, \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i0}^k = 1, \forall k \in K$$

ظرفیت وسایل نقلیه نیز باید رعایت شود.

$$u_j - u_i + Qx_{ij}^k \geq q_j, i \neq j \quad (5)$$

محدودیت آخر نیز به دامنه متغیرها اختصاص دارد.

$$x_{ij}^k, \forall i, j \in N, k \in K \quad (6)$$

ماهیت مسئله مسیریابی به دلیل ترکیب چندین عامل تصمیم‌گیری (مکان، مسیر، ظرفیت و زمان) به عنوان یک مسئله NP-hard شناخته می‌شود و حل آن در مقیاس بزرگ نیز مسئله را بسیار پیچیده‌تر می‌کند (تات و ویگو^۲، ۲۰۱۴).

¹. Baker & Ayechev

². Toth & Vigo

از دیدگاه نظری، پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه مسئله مسیریابی وسیله نقلیه را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود: (۱) پژوهش‌هایی که به توسعه‌ی مدل‌های مختلف مسئله‌ی مسیریابی با مفروضات و مشخصه‌های متفاوت پرداخته‌اند (برادران و همکاران ۲۰۱۹؛ لاپورته^۱ ۲۰۰۹؛ کمپبل و ویلسون^۲، ۲۰۱۴) پژوهش‌هایی که روش‌های حل متفاوتی برای مسئله ارائه داده‌اند (آرنولد، گندراو و سورنسن^۳، ۲۰۱۹؛ السیانی، ارمیس و کیوتسالیتیس^۴، ۲۰۲۲). از دیدگاه عملی، مسئله‌ی مسیریابی وسیله‌ی نقلیه کاربردهای فراوانی دارد. پخش سوخت، جمع‌آوری زباله، مسیریابی اتوبوس مدرسه و مسیریابی حرکت کارگران در انبارها چند نمونه از کاربردهای این مسأله در دنیای واقعی هستند (السیانی و همکاران، ۲۰۲۲).

با توجه به شرایط و فرضیات مختلف حاکم بر مسائل دنیای واقعی، اشکال گوناگونی از مسأله مسیریابی وسایل حمل‌ونقل توسعه یافته است. در حالی که مدل کلاسیک VRP (CVRP) با فرض ناوگان همگن وسایل نقلیه با ظرفیت و هزینه یکسان و در یک دوره برنامه‌ریزی توسعه یافته است، سایر اشکال این مدل با در نظر گرفتن فرضیه‌های نزدیک به دنیای واقع ارائه شده‌اند. برای نمونه، در VRP با پنجره زمانی (VRPTW) هر مشتری باید در بازه زمانی مشخصی خدمت دریافت کند که این امر محدودیت‌های زمانی به مسأله اضافه می‌کند (سولومون^۵، ۱۹۸۷). شکل توسعه‌یافته دیگر VRP چندمحصولی یا چند انبار (MDVRP) است که در این حالت، چند مرکز توزیع یا انواع مختلف کالا وجود دارد که باید هم‌زمان مدیریت شوند (کوردو و همکاران، ۱۹۹۷). دسته دیگری از مدل‌ها، VRP با ناوگان ناهمگن (HFVRP) است. در بسیاری از موقعیت‌های واقعی، ناوگان شامل وسایل نقلیه با ظرفیت‌ها، هزینه‌ها و مشخصات متفاوت است که مدل را به مراتب پیچیده‌تر می‌کند (بالداچی و مینگوزی، ۲۰۰۹). بخش دیگری از توسعه‌های مدل کلاسیک در نظر گرفتن اهداف توسعه پایدار است. مسأله VRP سبز (G-VRP) دسته‌ای از مدل‌های جدید مسائل مسیریابی است که معیارهای زیست‌محیطی مانند کاهش انتشار آلاینده‌ها، مصرف سوخت و اثرات کربنی را در کنار معیارهای اقتصادی لحاظ می‌کنند (بکتاش و لاپورت، ۲۰۱۱). همان‌طور که در تعریف VRP سبز گفته شد در سال‌های اخیر، توجه به جنبه‌های زیست‌محیطی منجر به گسترش بیشتر مفهوم مسیریابی سبز شده است. در این نوع مدل‌ها، هدف تنها به حداقل‌سازی هزینه یا زمان محدود نمی‌شود، بلکه کاهش آلودگی، مصرف سوخت و اثرات زیست‌محیطی نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که حتی تغییرات جزئی در مسیر ناوگان می‌تواند به کاهش قابل توجهی در انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر شود (گوویندان و همکاران، ۲۰۱۵).

برای حل مسائل مسیریابی وسیله نقلیه، روش‌های گوناگونی ارائه شده و همچنان نیز انتشار روش‌های جدید ادامه دارد. این روش‌ها را می‌توان به سه دسته تقسیم‌بندی نمود: روش‌های دقیق، روش‌های ابتکاری و روش‌های فراابتکاری با افزایش تعداد مشتریان، یا به عبارتی رأس‌ها، و بزرگ شدن مسأله، روش‌های دقیق دیگر پاسخگو نبوده و توانایی حل مسأله در زمانی معقول را نخواهند داشت. در اینجا روش‌های ابتکاری و فراابتکاری که با جستجوی تکراری فضای جواب، به سمت جوابی نزدیک به بهینه هم‌گرا می‌شوند، جایگزینی بسیار مناسب جهت حل این‌گونه مسائل هستند. این روش‌ها تعادل مناسبی میان کیفیت جواب و کارایی محاسبات ارائه می‌کنند که برای حل مسائل بزرگ بسیار ارزشمند است (الشاعر و اواد^۶، ۲۰۲۰).

روش‌های ابتکاری همچون الگوریتم‌هایی که به راه‌حل‌های قابل قبول و سریع منجر می‌شوند، مانند الگوریتم صرفه‌جویی کلارک-رایت، روش k-opt و جستجوی نزدیک‌ترین همسایگی و نیز روش‌های فراابتکاری شامل الگوریتم ژنتیک، شبیه‌سازی تبرید، جستجوی ممنوعه، ازدحام ذرات و اجتماع مورچگان از جمله روش‌های پرکاربرد هستند (برائکرز و همکاران، ۲۰۱۶؛ تات و ویگو^۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۴). همچنین روش‌های دقیق شامل برنامه‌ریزی عدد صحیح، شاخه و کران و الگوریتم‌های تولید ستون است که این روش‌ها به‌ویژه برای مسائل کوچک یا با ساختار خاص کاربرد بیشتری دارند (لاپورت^۸، ۲۰۰۹).

1. Laporte

2. Campbell & Wilson

3. Arnold, Gendreau, Sörensen

4. Alesiani, Ermis, & Gkiotsalitis

5. Solomon

6. Elshaer & Awad

7. Toth, Vigo

8. Laporte

صنعت ۴.۰

مفهوم «صنعت ۴.۰» یا انقلاب صنعتی چهارم، نخستین بار در نمایشگاه صنعتی هانوفر آلمان در سال ۲۰۱۱ معرفی شد و سپس توسط دولت فدرال آلمان به عنوان بخشی از استراتژی ملی صنعت این کشور توسعه یافت (کاگرمن و والستر، ۲۰۲۲). این اصطلاح بیانگر تحول صنعتی بر پایه دیجیتالی سازی، هوشمندسازی و اتصال سیستم های تولید و خدمات است. در حقیقت، صنعت ۴.۰ به معنای ادغام فناوری های نوین دیجیتال با فرآیندهای تولید و خدمات است که منجر به ایجاد کارخانه ها و شبکه های هوشمند می شود (لاسی و همکاران، ۲۰۱۴). پژوهشگران مختلف بر این باورند که پنج تا هفت فناوری با ادغام و ایجاد فرآیندهای کاملاً هوشمند، متصل و یکپارچه نقش مهمی در انقلاب صنعت ۴.۰ ایفا می کنند (لاسی و همکاران، ۲۰۱۴؛ فرانک^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). اینترنت اشیا^۲ با شبکه ای از اشیاء و تجهیزات فیزیکی از طریق حسگرها، نرم افزارها و ارتباطات اینترنتی قادر به جمع آوری، تبادل و پردازش داده هستند (آتزوری و همکاران، ۲۰۱۰). در محیط های صنعتی، اینترنت اشیا امکان نظارت لحظه ای بر ماشین آلات، تجهیزات و جریان مواد را فراهم ساخته و بدین وسیله باعث جلوگیری از خرابی های پیش بینی نشده و افزایش کارایی فرآیندها می شود. همچنین زیرساخت لازم برای سیستم های فیزیکی - سایبری و تصمیم گیری خودکار را ایجاد می کند. امروزه حجم عظیمی از داده ها در محیط های صنعتی است که از تجهیزات، حسگرها و تعاملات مشتریان تولید می شود. تحلیل کلان داده ها^۳ به سازمان ها امکان می دهد که این داده ها را به اطلاعات قابل استفاده برای تصمیم گیری تبدیل کنند. پژوهش های اخیر نشان داده اند که به کارگیری تحلیل کلان داده در صنایع می تواند به بهبود پیش بینی تقاضا، افزایش بهره وری انرژی و بهینه سازی عملیات منجر شود (وامبا و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین هوش مصنوعی^۴ (AI) و یادگیری ماشین^۵ (ML) نقشی کلیدی در صنعت ۴.۰ ایفا می کنند. این فناوری ها با شناسایی الگوها در داده های پیچیده و ارائه راهکارهای تصمیم گیری خودکار، امکان توسعه سیستم های پیش بین، تطبیقی و هوشمند را فراهم می آورند. برای مثال، الگوریتم های یادگیری ماشین می توانند برای تشخیص خرابی های احتمالی ماشین آلات یا پیش بینی نوسانات بازار به کار گرفته شوند (باریانیس و همکاران، ۲۰۱۹). بلاکچین^۶ یک فناوری مکانیسم پایگاه داده پیشرفته و دفترکل توزیع شده است که امکان ثبت تراکنش ها و تبادل داده ها را به شکلی شفاف، ایمن و غیرقابل تغییر فراهم می سازد. در صنعت ۴.۰، بلاکچین به ویژه در زنجیره های تأمین به دلیل تضمین ردیابی کالاها، اطمینان از اصالت محصولات و اعتماد میان ذی نفعان اهمیت دارد (کوئروز^۷ و همکاران، ۲۰۱۹). مفهوم بعدی از صنعت ۴.۰ مفهوم دوقلوی دیجیتال^۸ است که به ایجاد یک بازنمایی مجازی از سیستم ها، محصولات یا فرآیندهای واقعی اشاره دارد. این بازنمایی دیجیتال به سازمان ها امکان می دهد عملکرد سیستم ها را در شرایط مختلف شبیه سازی و سناریوهای متفاوت را پیش از اجرا ارزیابی کنند. در نتیجه، هزینه های آزمون و خطا کاهش می یابد و سرعت نوآوری افزایش پیدا می کند (تاو^۹ و همکاران، ۲۰۱۸). چاپ سه بعدی یا تولید افزودنی^{۱۰} یکی دیگر از فناوری های محوری صنعت ۴.۰ است که امکان تولید قطعات به صورت لایه به لایه و با انعطاف پذیری بالا را فراهم می کند. این فناوری سبب کوتاه شدن زمان توسعه محصول، کاهش ضایعات و افزایش توانایی در شخصی سازی محصولات می شود (گیسون و همکاران، ۲۰۲۱). سیستم های فیزیکی - سایبری^{۱۱} نیز ترکیبی از اجزای فیزیکی (ماشین آلات، تجهیزات) و اجزای سایبری (کنترل کننده ها، الگوریتم ها و شبکه های ارتباطی) هستند که با یکدیگر تعامل می کنند. این سیستم ها به عنوان بستر اصلی صنعت ۴.۰ شناخته می شوند و امکان یکپارچه سازی کامل میان دنیای واقعی و مجازی را فراهم می سازند (مونوستوری، ۲۰۱۴).

1. Frank

2. Internet of Things – IoT

3. Big Data Analytics

4. Artificial Intelligence

5. Machine Learning

6. Blockchain

7. Queiroz,

8. Digital Twin

9. Tao

10. Additive Manufacturing

11. Cyber-Physical Systems – CPS

در پژوهش حاضر به‌منظور پاسخ به سوالات تحقیق از چارچوب نوین مرور نظام‌مند ادبیات (SLR) مرزی و همکاران^۱ (۲۰۲۵) استفاده شده است. این روش برای مرور جامع و شفاف مطالعات مرتبط با یک حوزه طراحی شده و تعادلی میان دقت تحلیلی مرور نظام‌مند و عمق تفسیری مورد نیاز برای تلفیق اسناد متنوع برقرار می‌کند که در نهایت به توسعه دیدگاه‌های نظری جدید منجر می‌شود. روش مرور نظام‌مند ادبیات فرآیند قدرتمندی است که نه تنها شواهد موجود را گردآوری می‌کند، بلکه اعتبار، قابلیت تکرارپذیری و ارزش یافته‌های پژوهشی را افزایش می‌دهد و زمینه را برای ارائه‌ی پیشنهادها و توصیه‌های عملی و مبتنی بر شواهد فراهم می‌سازد (روحانی^۲ و همکاران، ۲۰۲۴). چارچوب مدنظر بر مستندسازی شفاف فرآیند انتخاب داده‌ها، اعتبارسنجی واژگان کلیدی، و فرآیندهای تحلیل و ترکیب تأکید دارد تا شفافیت تضمین شود. مطابق این چارچوب، ابتدا براساس مرور و بررسی اولیه ادبیات، خلأ پژوهشی شناسایی و بر این اساس سؤالات پژوهشی و معیارهای ورود و خروج تعیین می‌شوند. در گام بعدی واژگان کلیدی از طریق پالایش تدریجی و مشورت با خبرگان تدوین و تا یک رشته جستجوی جامع ایجاد خواهند شد. در گام سوم پایگاه‌های داده اسکوپوس و وب آو ساینس (WOS) به دلیل پوشش گسترده انتخاب می‌شوند تا مجموعه داده‌های قابل اتکا فراهم گردد. در گام چهارم اسناد از نظر تکراری بودن غربال شده و کیفیت آن‌ها با بررسی رتبه‌بندی مجلات در سایمگو ارزیابی می‌شود تا یک مجموعه داده‌ی مستحکم ساخته شود. در گام پنجم داده‌ها به‌صورت دستی پاک‌سازی و برای تحلیل آماده می‌شوند. نهایتاً یافته‌ها در گام ششم ترکیب شده تا براساس آن نوآوری‌های نظری، چارچوب‌های حاکم یا پیشنهادهای پژوهشی ارائه گردند که بینش‌های جدیدی در این حوزه ارائه می‌دهند. شکل ۱ روش‌شناسی تحقیق را به‌تفصیل نشان می‌دهد.

در چارچوب روش‌شناسی مرور نظام‌مند ادبیات، دو نقطه کنترل نقش بنیادین در ساختار بندی فرآیند مرور ایفا می‌کنند. نخست، نقطه کنترل یکپارچه‌سازی داده‌ها بر تبیین و دقیق‌سازی مرزهای پژوهش تمرکز دارد. این مرحله بر صورت‌بندی پرسش‌های پژوهش، بازبینی معیارهای ورود و خروج، طراحی رشته‌های جست‌وجو، و انتخاب پایگاه‌های داده تمرکز دارد. نقطه کنترل دوم، ارزیابی سهم دانش‌افزایی، براساس نتایج مراحل پیشین سعی در ترکیب یافته‌ها و ارزیابی سهم دانش‌افزایی نظری یافته‌های حاصل از مطالعات مرور شده خواهد داشت.

¹. Marzi et al.

². Rouhani

گام ۲. تعریف عبارت جست‌وجو

به‌منظور تضمین هم‌سویی مفهومی و افزایش دقت جست‌وجو، واژگان کلیدی براساس یک راهبرد دو منبعی شناسایی شدند. از یک سو، واژگان اولیه مستقیماً براساس اهداف پژوهش استخراج و در ادامه، از طریق مطالعه اکتشافی پژوهش‌های پیشین در حوزه مرتبط پالایش شدند. این فرآیند امکان پوشش هم‌زمان واژگان تثبیت شده و مفاهیم نوظهور مرتبط با اهداف را فراهم می‌سازد. به‌منظور اصلاح دقیق‌تر مجموعه واژگان، از نظرات و مشورت خبرگان نیز استفاده شد. با مطالعه مقدماتی مقالات مرتبط، نسبت به شناسایی اصطلاحات مترادف و انواع واژگان (برای نمونه مسیریابی وسایل نقلیه^۱ و بهینه‌سازی مسیر^۲) اقدام شد. فهرست واژگان کلیدی ماهیت ایستا نداشت و در خلال نقطه کنترل نخست، باتوجه به ارتباط موضوعی مقالات بازبایی شده، به‌طور تدریجی اصلاح شد. این به‌روزرسانی و پالایش به ایجاد یک دامنه جست‌وجوی جامع، منسجم و قابل اتکا کمک کرد. برای اطمینان از پوشش کامل ادبیات، یک راهبرد جست‌وجوی ساختاریافته در پایگاه‌های داده اصلی شامل اسکوپوس^۳، وب‌آوساینس^۴ (WOS)، پروکوئست^۵، و گوگل‌اسکولار^۶ دنبال شد که فراوانی مستندات یافت‌شده در پایگاه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به گستره میان رشته‌ای و محتوای گسترده از پژوهش‌های داوری شده، اسکوپوس به‌عنوان پایگاه نمونه انتخاب شد. پس از اجرای نقطه کنترل اولیه یکپارچه‌سازی داده‌ها، پالایش شکاف پژوهش، بازتعریف پرسش‌ها، بازانتخاب واژگان کلیدی و غربال نتایج از نظر سخت‌گیری و ارتباط، ترکیب نهایی جست‌وجو به صورت زیر تدوین شد:

((("vehicle routing" OR "vehicle routing problem" OR "VRP" OR "route optimization") AND ("Industry 4.0"))

علت اکتفا به عبارت «صنعت ۴.۰» پوشش جامع تمامی فناوری‌های ذیل این مفهوم است. این عبارت در عنوان، چکیده و واژگان کلیدی جست‌وجو شد و با توجه به الزامات ساختاری هر پایگاه داده تنظیم گردید. جست‌وجوی اولیه مجموعاً ۱۶۳ رکورد را به دست داد که به تفکیک اسکوپوس ۸۷ مورد، WOS برابر ۳۲، ProQuest برابر ۳۲ و Google Scholar برابر ۱۲ مورد بودند.

1. Vehicle routing

2. Route optimization

3. Scopus

4. Web of Science

5. ProQuest

6. Google Scholar

فرمول‌بندی عبارت جستجو

پایگاه‌های جست‌وجوشده

۸۷ = Scopus

۲۲ = Web of Science

۲۲ = ProQuest

۱۲ = Google Scholar

تعداد کل رکورد: ۱۶۳

ترکیب کلیدواژه‌های مرتبط با «مسیریابی» و «صنعت ۴.۰» در عنوان‌ها، چکیده‌ها و کلیدواژه‌ها: عبارات حوزه مسیریابی:

route optimization

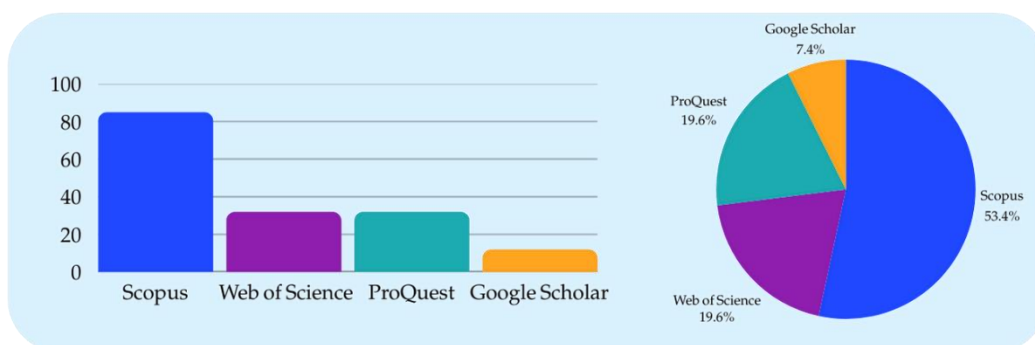
VRP

vehicle routing problem

vehicle routing

و عبارت حوزه صنعت ۴.۰:

Industry 4.0



شکل ۲. تعریف واژگان جستجو و توزیع نتایج

گام ۳. انتخاب پایگاه‌های داده

متن پایگاه‌های داده منتخب براساس پوشش گسترده پژوهش‌های داوری‌شده انتخاب شدند تا بازنمایی مناسبی از منظر میان‌رشته‌ای فراهم شود. جست‌وجوی ادبیات در پایگاه‌های اسکوپوس و WOS با توجه به پوشش گسترده مقالات مجلات علمی و کنفرانس‌های رتبه‌بندی شده در پایگاه سایمگو^۱ صورت گرفت. همچنین، پایگاه‌های ProQuest و Google Scholar نیز به‌منظور اطمینان از فراگیری نتایج بررسی شدند. این پایگاه‌ها مقالات کلیه انتشارات مهم نظیر الزویر^۲، اسپرینگر^۳، امرالد^۴، تیلور اند فرانسیس^۵، IEEE، MDPI و ... را شامل می‌شدند. با توجه به نوآورانه بودن فناوری‌های صنعت ۴.۰ و فراگیری آن‌ها در سال‌های اخیر، بازه جستجو میان سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۵ صورت گرفت. خلاصه وضعیت گام ۳ در شکل ۳ نشان داده شده است.

1. Scimago

2. Elsevier

3. Springer

4. Emerald

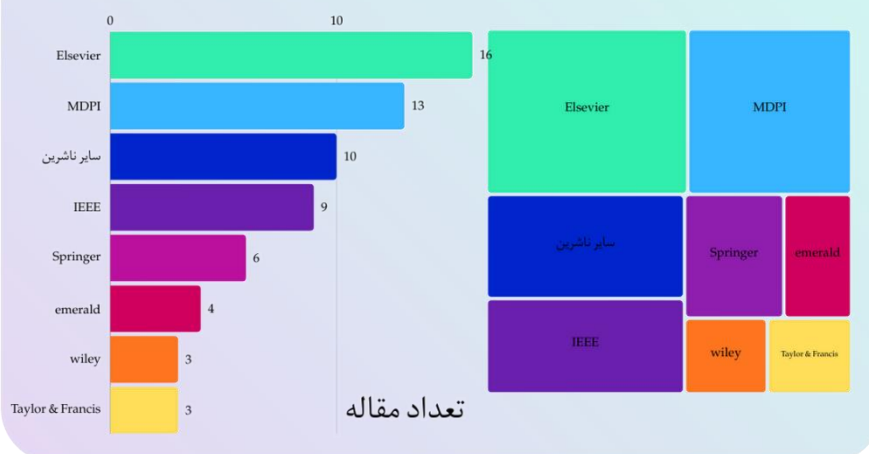
5. Taylor and Francis



داده‌های شامل شده ✓

- محدوده مطالعه: کاربرد فناوری‌های صنعت 4.0 در مسیریابی وسایل نقلیه زمینی
- نوع منبع: مقالات مجله و کنفرانسی نمایه شده در پایگاه‌های معتبر و جزء 25% مجلات معتبر
- زبان و نوع مقاله: تنها انگلیسی و از نوع پژوهشی
- حوزه کاربردی: علوم کامپیوتر، مهندسی، علوم تصمیم، سیستم‌های اطلاعاتی، مدیریت، کسب و کار و علوم اجتماعی
- دوره زمانی: 2011 - 2025

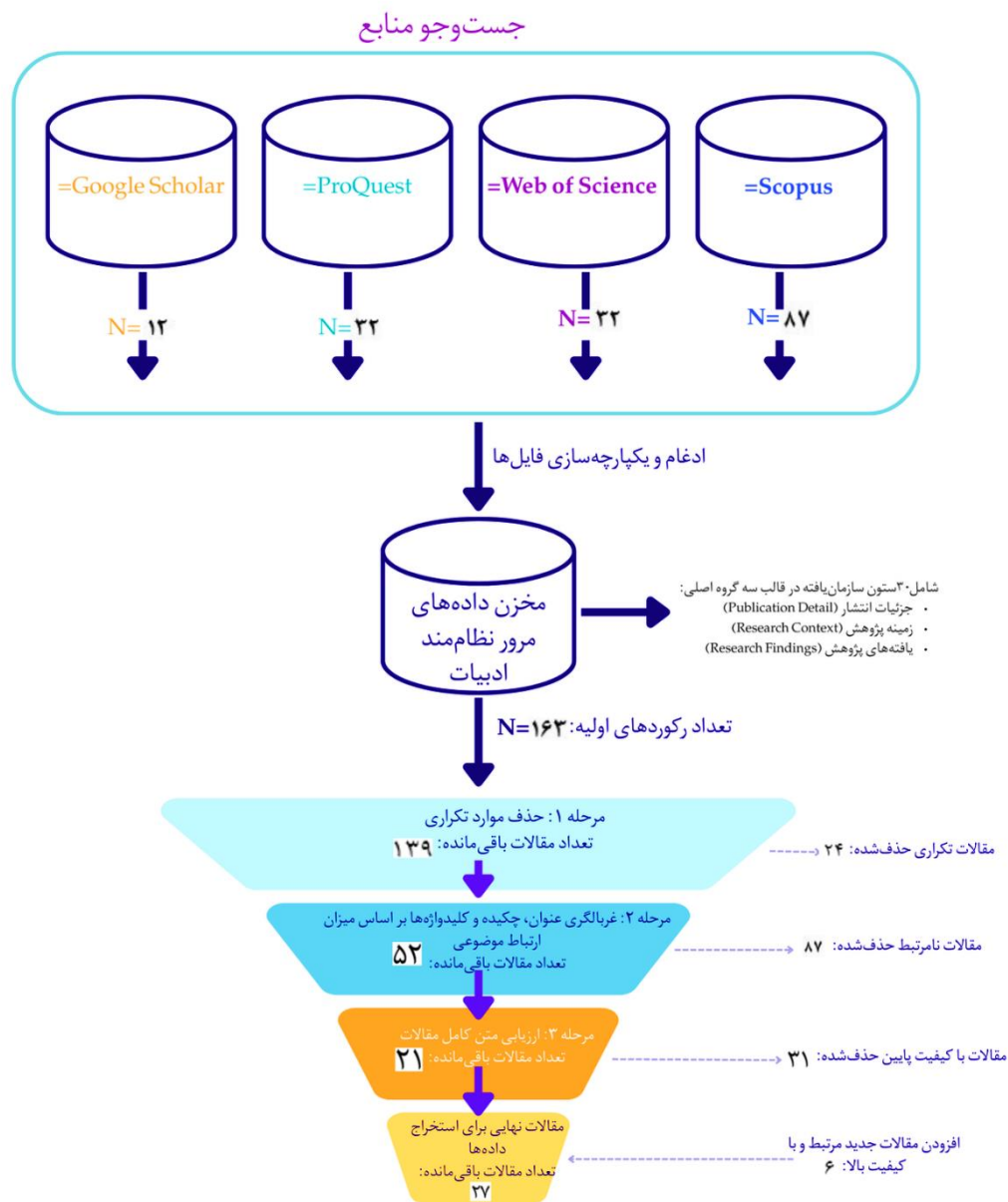
مهم‌ترین ناشر بعد از حذف مقالات تکراری و غربال



شکل ۳: انتخاب و اعتبارسنجی پایگاه داده

گام ۴. غربال‌گری داده‌ها و بررسی‌های متقاطع

در این گام و پس از ادغام و تلفیق نتایج جستجوی پایگاه‌های داده در قالب یک فایل CSV، یک فرآیند غربال‌گری سه مرحله‌ای، مطابق شکل ۴، انجام شد. در مرحله نخست، مقالات تکراری حذف شدند. در این مرحله از مجموع ۱۶۳ مقاله یافت شده، تعداد ۲۴ مقاله تکراری حذف شدند.



شکل ۴: ادغام و غربالگری سه مرحله ای داده ها (منبع: نویسندگان)

در مرحله دوم، مقالات باقی مانده براساس معیارهای جدول ۱ ارزیابی و مطالعات نامرتب حذف شدند. براساس یو^۱ (۲۰۱۶)، مقالاتی که از لحاظ یافته ها و اهداف تحقیق براساس آن چه در چکیده مقاله ذکر شده نامرتب باشند، از بررسی حذف خواهند شد. در این مرحله از مجموع ۱۳۹ مقاله باقی مانده، با تکمیل جدول ۱ تعداد ۸۷ مطالعه حذف شدند. مقالات باقی مانده برای بررسی آتی باید از نوع پژوهشی و منتشر شده در مجلات ۵۰٪ برتر، به زبان انگلیسی و در حوزه های پژوهشی مرتبط باشند. در این مرحله مستندات از نوع مقالات کاری، پایان نامه ها یا رساله های تحصیلات تکمیلی، مقالات سفید و فصول کتاب نیز از بررسی حذف شدند.

^۱.Yu

جدول ۱. معیارهای شمول و عدم شمول مقالات

مقاله	محدوده مطالعه: کاربرد فناوری‌های صنعت ۴.۰ در مسیریابی وسایل نقلیه زمینی	نوع منبع: مقالات مجله و کنفرانسی نمایه شده در پایگاه‌های معتبر و جزء ۲۵٪ مجلات معتبر	زبان و نوع مقاله: تنها انگلیسی و از نوع پژوهشی	حوزه کاربردی: علوم کامپیوتر، مهندسی، علوم تصمیم، سیستم‌های اطلاعاتی، مدیریت، کسب‌وکار و علوم اجتماعی	دوره زمانی: ۲۰۱۱ - ۲۰۲۵	واژگان کلیدی: شکل ۲
شمول:	+	+	+	+	+	+
عدم شمول	×	+	+	+	+	+

در مرحله سوم مقالات بی کیفیت با بررسی متن کامل مقالات مبتنی بر معیارهای برنامه مهارت‌های ارزیابی حیاتی^۱ (CASP) حذف شدند. بررسی کیفیت مقالات نقش مهمی در اعتبار و قابلیت اطمینان داده‌ها دارد. معیارهای CASP با تاکید بر ارزیابی طرح پژوهش، از اعتبار نظام‌مند روش‌شناسی تحقیقات مورد بررسی اطمینان حاصل می‌کنند. شاهین^۲ و همکاران (۲۰۲۳) یک چارچوب ۱۰ سوالی CASP برای ارزیابی کیفیت مرور نظام‌مند ارائه دادند که بر شفافیت سوالات تحقیق، تناسب منابع، پوشش مطالعات مرتبط، روش‌شناسی ساختارمند، و کاربردپذیری یافته‌ها تمرکز دارد. براساس این چارچوب، هر یک از مقالات در طیف «خیلی خوب» تا «خیلی ضعیف» در هر یک از سوالات ارزیابی شدند. امتیاز «خیلی خوب» به منزله مقاله‌ای با کیفیت و اشکالات جزئی بوده در حالی که امتیاز «متوسط» و «ضعیف» ملاحظات جدی‌تری را منعکس می‌سازد. امتیاز «خیلی ضعیف» نیز بیان‌گر اشکالات جدید در مقاله است. در این مرحله همچنین مقالاتی که دارای عناوین متفاوت اما نویسندگان، چارچوب پژوهشی و نتایج مشابه بوده نیز به‌عنوان تکراری تلقی و از بررسی بیشتر حذف شدند. با بررسی جامع متن ۵۱ مقاله باقی‌مانده، مطالعات دارای کیفیت پایین، مطالعات مروری و یا مطالب تکراری حذف و در نهایت ۲۱ مقاله برای بررسی نهایی باقی ماند. در این مرحله، با بررسی سایر منابع تعداد ۶ مقاله مرتبط دیگر با شرایط مدنظر پیدا شد که با افزودن به مقالات باقی‌مانده، در نهایت ۲۷ مقاله به عنوان مقالات نهایی انتخاب شدند.

گام ۵. پاک‌سازی و استخراج داده

با توجه به اهداف تحقیق حاضر و به‌منظور تجزیه و تحلیل مطالعات باقی‌مانده، از طریق بررسی کامل متن، نسبت به ارزیابی مقالات براساس محورهای زیر اقدام شد: (۱) نوع مدل مسیریابی وسایل نقلیه، (۲) همگن بودن یا نبودن ناوگان حمل‌ونقل، (۳) توابع هدف مدل، (۴) روش حل به کار رفته، (۵) کاربردهای فناوری صنعت ۴.۰، و (۶) نتایج و پیامدهای حاصل. این تحلیل به شناسایی و اکتشاف الگوهای مرتبط و مورد نیاز برای پاسخ به سوالات پژوهش کمک می‌کند که جزئیات آن در جدول ۲ نشان داده شده است.

1. Critical Assessment Skills Programme

2. Shaheen

نقطه بررسی: تجمیع داده‌ها

براساس چارچوب مرزی و همکاران (۲۰۲۵)، واژگان کلیدی استخراج شده از بررسی ۲۷ مقاله نهایی شده به منظور اطمینان از تناسب، جامعیت و پرهیز از هرگونه اریب یا انحراف به دقت بررسی شدند. برای این منظور از یک بررسی سه جانبه استفاده شد: ابتدا، نتایج واژگان کلیدی از طریق ۵ خبره مرتبط با موضوع مورد تأیید قرار گرفت. سپس، جستجو در سه بازه زمانی متفاوت انجام شد تا سازگاری نتایج تضمین گردد. همچنین، چارچوب جستجو توسط محقق دیگری تکرار شد تا از حصول نتیجه مشابه اطمینان حاصل شود. با توجه به مشخص بودن مسأله مورد بررسی، مسیریابی وسایل نقلیه، و واژگان تقریباً ثابت مورد استفاده توسط پژوهشگران، تکرار روند فوق به نتایج متفاوتی منجر نشده و به همین دلیل از سازگاری و ثبات نتایج در آن مرحله برای محققان تضمین گردید.

به منظور فرآیند تحلیل محتوای مقالات نهایی یک رویکرد ترکیبی در کدگذاری مورد استفاده قرار گرفت. چارچوب اولیه کدها به صورت قیاسی^۱ و مبتنی بر سؤالات پژوهش و ابعاد شناخته شده مسأله VRP و فناوری‌های صنعت ۴.۰ طراحی شد (شامل: نوع مسأله، نوع ناوگان، تابع هدف، روش حل، فناوری‌های به کاررفته، و دستاوردها). در حین تحلیل عمقی متون، امکان ایجاد کدهای فرعی جدید (به عنوان مثال، تشخیص الگوهای نوین در کاربرد فناوری‌ها) نیز فراهم بود که عنصری استقرایی^۲ به فرآیند افزود. این رویکرد ترکیبی موجب شد که تحلیل هم بر پایه ادبیات موجود ساختاریافته و هم موجب ایجاد الگوهای از داده‌ها باشد.

گام ۶. مرور نظام‌مند ادبیات

پس از نهایی‌سازی فهرست مقالات، هر یک از مقالات باقی‌مانده به طور کامل و جامع تحلیل شده، اطلاعات مرتبط براساس مولفه‌های مدنظر تجزیه و تحلیل شدند. در بخش نوع مدل، انواع شناسایی شده مدل‌ها شامل مسیریابی پویا، مسیریابی سبز، مسیریابی با محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه، و مسیریابی وابسته به زمان بود. از لحاظ نوع ناوگان، دو دسته مسائل مسیریابی با ناوگان همگن و ناهمگن مورد بررسی قرار گرفتند. اهداف مدنظر در هر یک از مقالات مرور شده، اعم از تک‌هدفه یا چند هدفه اهداف مرتبط با هزینه، زمان، مسافت و میزان آلاینده‌گی را شامل می‌شد. روش‌های حل مدل‌ها نیز به انواع دقیق، ابتکاری، فرآیندکاری، ترکیبی، و یادگیری تقویتی عمیق دسته‌بندی شدند. با توجه به هدف اصلی مقاله دال بر شناسایی کاربرد فناوری‌های صنعت ۴.۰ در مسائل مسیریابی، فناوری مدنظر در هر یک از مقالات مورد بررسی قرار گرفت. این فناوری‌ها شامل اینترنت اشیاء، دوقلوی دیجیتال، کلان‌داده، بلاکچین، مبتنی بر هوش مصنوعی و سامانه سایبری-فیزیکی بوده که هر یک به صورت متفاوت در پژوهش‌های مورد بررسی لحاظ شده‌اند. این کاربردها به تفصیل در بخش چهارم مقاله بحث شده است. در نهایت، تأثیرات کاربرد فناوری‌ها در محورهای مختلف اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی، بهبود عملکردی، صرفه‌جویی انرژی و کاهش انتشار آلاینده‌گی بررسی شده است.

گام ۷. جمع‌بندی

در گام آخر تحقیق حاضر، با تجمیع یافته‌های حاصل از مرور مطالعات پیشین، نسبت به شفاف‌سازی و تبیین کاربردهای فناوری صنعت ۴.۰ در مدل‌های مسیریابی وسایل نقلیه اقدام شده تا محققان براساس آن بتوانند با شناخت بیشتری به طراحی و توسعه مدل‌های نوین مسیریابی وسایل نقلیه مبتنی بر این فناوری‌ها بپردازند. با توجه به سؤالات تحقیق حاضر که در مقدمه مقاله به آن اشاره گردید، در بخش جمع‌بندی و نتیجه‌گیری نسبت به بحث عمیق پیرامون این سؤالات اقدام شده است.

یافته‌های پژوهش

همان‌طور که در بخش روش‌شناسی اشاره گردید، پس از استخراج مقالات اولیه براساس چارچوب جستجوی مورد اشاره و طی مراحل بررسی و غربال مقالات، در نهایت تعداد ۲۷ مقاله به عنوان مقالات نهایی متناسب با اهداف تحقیق حاضر شناسایی شدند. مطابق گام ۵ روش‌شناسی، پس از تعیین مقالات نهایی، با مطالعه کامل متن مقالات، ویژگی‌های هر یک از مقالات از دو منظر

^۱. Deductive

^۲. Inductive

مورد بررسی قرار گرفت. منظر نخست، ابعاد متداول مرتبط با مسائل مسیریابی شامل نوع مسأله مسیریابی، نوع ناوگان حمل‌ونقل، توابع هدف و روش حل مدل است که خلاصه یافته‌ها در جدول ۲ ارائه شده و در ادامه به تفصیل مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. منظر دوم که نتایج آن در جدول ۳ به‌طور خلاصه ارائه شده، مرتبط با کاربرد فناوری‌های صنعت ۴.۰ در مسائل مسیریابی و دستاوردهای حاصل است. در ادامه مقاله هر یک از ابعاد مورد بررسی در مقالات مورد تحلیل بیشتر قرار گرفته‌اند.

		*						*		*		*			۲۰۲۳	Begić & Galić	۱۴
	*						*	*		*		*		*	۲۰۲۳	Abdirad et al.	۱۵
	*		*	*	*		*	*	*			*	*		۲۰۲۳	Rahmanifar et al.	۱۶
	*		*					*	*				*		۲۰۲۲	Singh et al.	۱۷
			*		*			*	*				*		۲۰۲۲	Gu, Z., et al.	۱۸
		*						*	*				*		۲۰۲۲	Alp et al.	۱۹
*						*		*		*		*			۲۰۲۲	Altaf et al.	۲۰
			*			*			*					*	۲۰۲۲	Ritzinger et al.	۲۱
	*		*	*			*	*		*		*		*	۲۰۲۲	Abdirad et al.	۲۲
	*		*				*			*			*		۲۰۲۲	Sarıççek et al.	۲۳
			*			*				*	*				۲۰۲۱	Zahedi et al.	۲۴
	*		*					*		*				*	۲۰۲۱	Abdirad et al.	۲۵
			*			*				*	*				۲۰۲۱	Chen et al.	۲۶
				*		*	*			*		*			۲۰۲۱	Rahman et al.	۲۷

جدول ۳. مرور نظام مند مقالات نهایی شده کاربرد فناوری های صنعت ۴.۰ در مسیربایی وسایل نقلیه (نوع فناوری، نتایج و پیامدها)

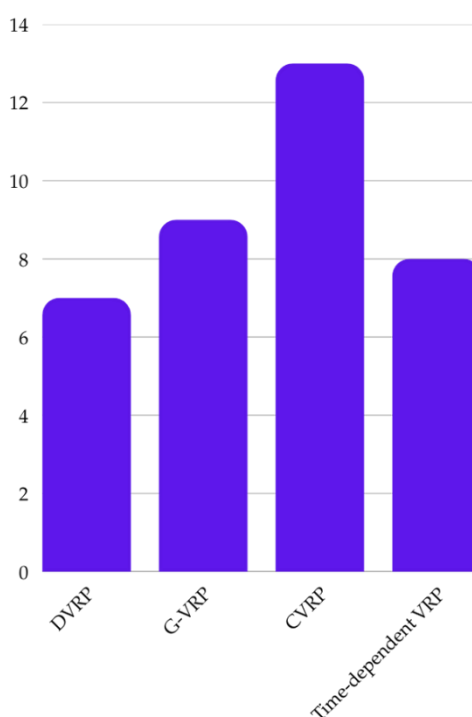
نتایج و پیامدها						فناوری صنعت ۴.۰						سال	نام نویسنده	ردیف
کاهش انتشار	صرفه جویی در انرژی	بهبود عملکرد	تأثیر اجتماعی	تأثیر زیست محیطی	تأثیر اقتصادی	سامانه سایبری- فیزیکی (CPS)	مبتنی بر هوش مصنوعی	زنجیره بلوکی	کلان داده	همزاد دیجیتال	اینترنت اشیا			
*	*	*				*						۲۰۲۵	Wang & Lin	۱
*	*	*	*	*		*	*				*	۲۰۲۵	Agarwal et al.	۲
		*			*	*						۲۰۲۵	Yuan, B., Cui, W., & Baldacci, R.	۳
		*			*	*	*					۲۰۲۵	Jiang et al.	۴
*	*	*			*		*					۲۰۲۵	Mohammed El-Amine Meziane	۵
		*				*					*	۲۰۲۵	Li et al.	۶
*	*	*		*	*		*		*		*	۲۰۲۵	Fatorachian et al.	۷
		*			*	*	*				*	۲۰۲۴	Khatua et al	۸
*		*	*	*	*	*					*	۲۰۲۴	Govindan et al.	۹
*		*					*					۲۰۲۳	Wu et al.	۱۰
		*		*	*						*	۲۰۲۳	Mohammadi et al.	۱۱
		*			*							۲۰۲۳	Çil et al.	۱۲
		*			*		*					۲۰۲۳	Azad et al.	۱۳
		*			*	*					*	۲۰۲۳	Begić & Galić	۱۴
		*			*	*	*				*	۲۰۲۳	Abdirad et al.	۱۵
*		*	*	*	*						*	۲۰۲۳	Rahmanifar et al.	۱۶
		*			*	*						۲۰۲۲	Singh et al.	۱۷
*				*	*				*			۲۰۲۲	Gu, Z., et al.	۱۸
		*		*	*	*						۲۰۲۲	Alp et al.	۱۹
		*					*					۲۰۲۲	Altaf et al.	۲۰
		*								*		۲۰۲۲	Ritzinger et al.	۲۱
		*				*	*				*	۲۰۲۲	Abdirad et al.	۲۲
	*	*					*					۲۰۲۲	Sarıççek et al.	۲۳
		*									*	۲۰۲۱	Zahedi et al.	۲۴

		*			*	*				*	۲۰۲۱	Abdirad et al.	۲۵
		*						*		*	۲۰۲۱	Chen et al.	۲۶
		*			*		*				۲۰۲۱	Rahman et al.	۲۷

تحلیل مطالعات مبتنی بر ابعاد کلاسیک مسأله مسیریابی

در این بخش، یافته‌های حاصل از مرور نظام‌مند ۲۷ مقاله منتخب در زمینه کاربرد فناوری‌های صنعت ۴۰ در مسائل مسیریابی وسایل نقلیه تحلیل می‌شود. تحلیل حاضر صرفاً براساس داده‌های استخراج‌شده در جداول مرور ادبیات انجام و تلاش شده تا الگوهای غالب، هم‌پوشانی‌ها، نوآوری‌ها و خلأهای پژوهشی موجود به صورت تحلیلی تبیین شوند.

بررسی نوع مسائل مسیریابی نشان می‌دهد که تمرکز اصلی مطالعات مبتنی بر صنعت ۴۰ عمدتاً بر نسخه‌های توسعه‌یافته مسئله مسیریابی با محدودیت ظرفیت (CVRP) و انواع وابسته به زمان (TVRP) بوده است. بخش قابل توجهی از مقالات، به‌ویژه در سال‌های اخیر، از CVRP به عنوان چارچوب پایه استفاده کرده‌اند و فناوری‌های صنعت ۴۰ را برای غنی‌سازی داده‌ها، به‌روزرسانی پارامترها یا بهبود فرآیند حل به آن افزوده‌اند. شکل ۵ فراوانی هر یک از انواع مدل‌های مسیریابی در مقالات مرور شده را نشان می‌دهد.



شکل ۵. انواع مدل‌های مسیریابی در مقالات مرور شده

تحلیل نوع ناوگان حمل‌ونقل نشان می‌دهد که اکثریت مطالعات (۷۴.۱٪) از فرض ناوگان همگن استفاده کرده‌اند. این رویکرد، به‌ویژه در مقالاتی که تمرکز آن‌ها بر توسعه یا ارزیابی روش‌های حل بوده است، به‌منظور کاهش پیچیدگی محاسباتی انتخاب شده است. با این حال، استفاده از ناوگان ناهمگن تنها در تعداد محدودی از مطالعات، از جمله آثار گوویندان^۱ و همکاران (۲۰۲۴)، محمدی و همکاران (۲۰۲۳) و رحمانی‌فر^۲ و همکاران (۲۰۲۳) دیده می‌شود. غلبه ناوگان همگن در ادبیات نشان‌دهنده شکاف میان توانمندی‌های بالقوه صنعت ۴۰ (مانند جمع‌آوری داده‌های دقیق از وسایل نقلیه مختلف) و سطح واقع‌گرایی مدل‌های مسیریابی ارائه شده است. این یافته حاکی از آن است که ادبیات موجود هنوز از ظرفیت کامل فناوری‌های دیجیتال برای مدل‌سازی ناوگان‌های متنوع و واقعی بهره‌برداری نکرده است.

^۱. Govindan

^۲. Rahmanifar

غلبه ناوگان همگن در ادبیات نشان‌دهنده شکاف میان توانمندی‌های بالقوه صنعت ۴.۰ (مانند جمع‌آوری داده‌های دقیق از وسایل نقلیه مختلف) و سطح واقع‌گرایی مدل‌های مسیریابی ارائه‌شده است. این یافته حاکی از آن است که ادبیات موجود هنوز از ظرفیت کامل فناوری‌های دیجیتال برای مدل‌سازی ناوگان‌های متنوع و واقعی بهره‌برداری نکرده است.

در مقالات مورد بررسی، توابع هدف متفاوتی در مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفته که عمدتاً شامل کمینه‌سازی هزینه، مسافت، زمان و آلاینده‌گی بوده است. در این میان، ۱۴ تا از مقالات به صورت تک‌هدفه و ۱۳ مقاله به صورت چندهدفه مدل‌سازی شده‌اند. در مقالات تک‌هدفه، ۲۲.۲٪ از مقالات از هدف هزینه، ۷.۴٪ مبتنی بر هدف مسافت، ۱۸.۵٪ مبتنی بر هدف زمان و ۳.۷٪ مبتنی بر هدف آلاینده‌گی مدل‌سازی شده‌اند. در مقابل، در مسائل چندهدفه، فراوانی اهداف فرموله‌شده در جدول متقاطع شکل ۶ قابل مشاهده است.

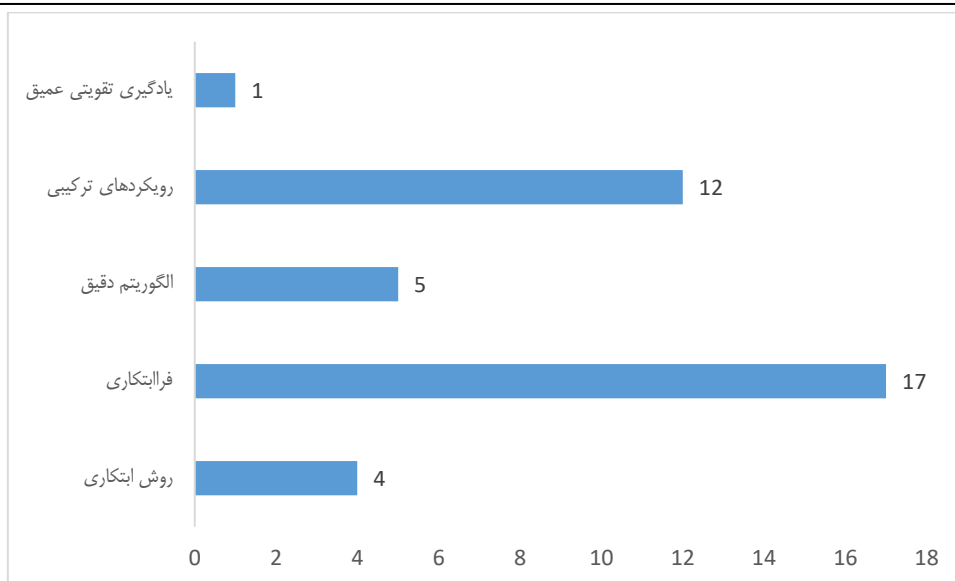
بر اساس داده‌های ارائه‌شده، نمودار هیتمپ شکل ۶ به‌خوبی نشان می‌دهد که در میان ۲۷ مقاله بررسی‌شده، چگونه اهداف مختلف در مدل‌های چندهدفه با یکدیگر ترکیب شده‌اند. در مدل‌های چندهدفه (۱۳ مقاله)، نمودار هیتمپ^۱ فراوانی ترکیب‌های مختلف اهداف را به صورت ماتریس متقاطع نشان می‌دهد. از این ماتریس مشخص می‌شود که ترکیب هزینه و آلاینده‌گی با فراوانی ۸، پرتکرارترین جفت هدف در مطالعات چندهدفه بوده است و ترکیب زمان و مسافت نیز با فراوانی ۱۱، جایگاه دوم را از نظر تکرار دارد. همچنین هدف هزینه به‌طور کلی با اکثر اهداف دیگر (مسافت، زمان، آلاینده‌گی) همراه شده است که نشان‌دهنده اهمیت این متغیر در مدل‌سازی‌های چندمعیاره است.

	آلاینده‌گی‌ها	زمان	مسافت	هزینه
آلاینده‌گی‌ها	۹	۳	۴	۸
زمان	۳	۱۱	۳	۵
مسافت	۴	۳	۹	۶
هزینه	۸	۵	۶	۱۷

شکل ۶. فراوانی کاربرد اهداف در مدل‌های چندهدفه

از منظر روش‌شناسی، فراابتکاری‌ها و رویکردهای ترکیبی غالب‌ترین روش‌های حل در مطالعات مرور شده بوده‌اند. این امر به‌ویژه در مسائلی با ابعاد بزرگ و پیچیدگی بالا مشاهده می‌شود. الگوریتم‌های دقیق عمدتاً در مسائل کوچک‌تر یا به‌منظور اعتبارسنجی راه‌حل‌ها به کار رفته‌اند. یادگیری تقویتی عمیق تنها در تعداد محدودی از مطالعات مورد استفاده قرار گرفته است، اما همین حضور محدود نشان‌دهنده جهت‌گیری نوین ادبیات به سمت روش‌های یادگیرنده و تطبیقی است. هم‌زمانی استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰ با رویکردهای فراابتکاری و ترکیبی نشان می‌دهد که پژوهشگران به‌دنبال دستیابی به تعادل میان کیفیت راه‌حل و قابلیت مقیاس‌پذیری هستند. تحلیل توابع هدف بیانگر آن است که معیارهای اقتصادی نظیر هزینه، مسافت و زمان همچنان غالب‌ترین اهداف در مسائل مسیریابی مبتنی بر صنعت ۴.۰ هستند. اگرچه در برخی مطالعات معیار آلاینده‌گی نیز در نظر گرفته شده است، اما سهم آن در مقایسه با اهداف اقتصادی محدودتر است. این یافته نشان می‌دهد که علی‌رغم تأکید نظری صنعت ۴.۰ بر پایداری، ترجمه این مفهوم به توابع هدف چندبعدی و زیست‌محیطی در مدل‌های مسیریابی هنوز به‌طور کامل محقق نشده است. شکل ۶ فراوانی روش‌های حل مورد استفاده در مقالات را نشان می‌دهد.

^۱. Heatmap



شکل ۷. نوع روش حل به کاررفته در مقالات مورد بررسی

سطوح به کارگیری صنعت ۴.۰ در مقالات مرور شده

در تحلیل حاضر، میزان و نحوه به کارگیری مفهوم صنعت ۴.۰ در مطالعات حوزه مسیریابی هوشمند در چهار سطح متمایز دسته بندی شده است. در سطح نخست، که سطح «مفهومی و چارچوبی» نامیده می شود، اصطلاح صنعت ۴.۰ عمدتاً در بخش های مقدماتی مقاله مانند عنوان، چکیده یا مقدمه به عنوان زمینه کلی و انگیزه پژوهش ظاهر شده است، بدون آن که نقش عملیاتی یا مستقیمی در مدل سازی یا راه حل ارائه شده ایفا کند. به عنوان نمونه، در مطالعه گو و همکاران (۲۰۲۲)، صنعت ۴.۰ به عنوان محرک کلانی برای پرداختن به مسئله مسیریابی چندانباری مطرح شده، اما در الگوریتم حل مسئله (الگوریتم کلونی زنبور عسل) هیچ نقش ساختاری ندارد. به طور مشابه، وو^۱ و همکاران (۲۰۲۳) چارچوب صنعت ۴.۰ را به عنوان محیط کلی پژوهش معرفی کرده اند، بدون آن که فناوری های مشخص آن در مدل ریاضی یا معیارهای بهینه سازی ادغام شوند.

سطح دوم، تحت عنوان «تأثیر غیرمستقیم بر فرمولاسیون مسئله»، شامل مطالعاتی است که در آنها صنعت ۴.۰ ماهیت و ویژگی های مسئله مورد بررسی را دگرگون ساخته است. در این سطح، ویژگی هایی مانند پویایی بلادرنگ، ناهمگنی تقاضا، یا اهداف چندگانه (همچون کارایی، پایداری و انعطاف پذیری) که از اقتضات محیط صنعت ۴.۰ نشأت می گیرند، کانون توجه قرار گرفته اند، هرچند خود فناوری ها به صورت صریح در معادلات ریاضی مدل ظاهر نمی شوند. برای مثال، جیانگ و همکاران (۲۰۲۵) در مدل ارائه شده خود ماهیت پویا و بلادرنگ ناشی از شرایط محیط صنعت ۴.۰ را در نظر گرفتند. همچنین، چیل و همکاران (۲۰۲۳) مسئله یکپارچه تعادل خط و مسیریابی را در چارچوب صنعت ۴.۰ و با در نظر گرفتن قابلیت هماهنگی بلادرنگ بین سطوح مختلف زنجیره تأمین مدل سازی کرده اند.

در سطح سوم، که «جزء اصلی مدل یا داده» نامیده می شود، فناوری های کلیدی صنعت ۴.۰ به عنوان منبع داده یا پارامترهای ورودی ضروری، مستقیماً در مدل سازی ریاضی یا فرآیند بهینه سازی ادغام شده اند. در این دسته از پژوهش ها، داده های تولید شده توسط حسگرها، سیستم های اینترنت اشیا (IoT) یا پردازش های هوش مصنوعی، سنگ بنای شکل گیری مسئله و ارزیابی راه حل ها هستند. به طور مشخص، در پژوهش محمودی و همکاران (۲۰۲۳)، داده های لحظه ای حسگرهای نصب شده روی سطل های زباله هوشمند، پارامترهای ورودی اصلی برای مدل ریاضی مسیریابی سبز وسایل نقلیه (Green VRP) را تشکیل می دهند. به همین

^۱. Wu

ترتیب، در مطالعه خاتوا و همکاران (۲۰۲۴)، داده‌های بلادرنگ اینترنت اشیا و پیش‌بینی‌های حاصل از مدل‌های یادگیری ماشین، به‌طور مستقیم در تابع هدف و فرآیند جستجوی الگوریتم ژنتیک با طول متغیر (ML-VLGA) به‌کار گرفته شده‌اند. نهایتاً، در سطح چهارم و عمیق‌ترین سطح که «هسته راه‌حل و معماری سیستم» خوانده می‌شود، مفاهیم و فناوری‌های صنعت ۴.۰ به جزء جدایی‌ناپذیر و زیرساختی راه‌حل پیشنهادی تبدیل شده‌اند. در این مطالعات، سیستم پیشنهادی بدون بهره‌گیری از این فناوری‌ها اساساً غیرقابل تصور یا پیاده‌سازی است. به‌عنوان نمونه، سینگ و همکاران (۲۰۲۲) یک سیستم مسیریابی برای وسایل نقلیه هدایت‌شونده خودکار (AGV) طراحی کرده‌اند که به‌طور ذاتی بر معماری سیستم‌های سایبر-فیزیکی، ارتباطات اینترنت اشیا و پردازش لبه^۱ استوار است. در پژوهش ریتزینگر و همکاران (۲۰۲۲)، دو قلو دیجیتال به‌عنوان هسته مرکزی یک چارچوب بهینه‌سازی مستمر و همگام‌سازی بلادرنگ عمل می‌کند که مدیریت پویای ناوگان حمل‌بیماران را ممکن می‌سازد. همچنین، لی و همکاران (۲۰۲۵) با معرفی معماری «CARS»، یک زیرساخت ارتباطی امن و کم‌تأخیر را به‌عنوان بستر ضروری برای اجرای سیستم‌های مسیریابی پویا و قابل اعتماد در اکوسیستم صنعت ۴.۰ ارائه داده‌اند. جدول شماره ۴ خلاصه‌ای از سطوح مختلف به کارگیری صنعت ۴.۰ در مقالات مرور شده را نشان می‌دهد.

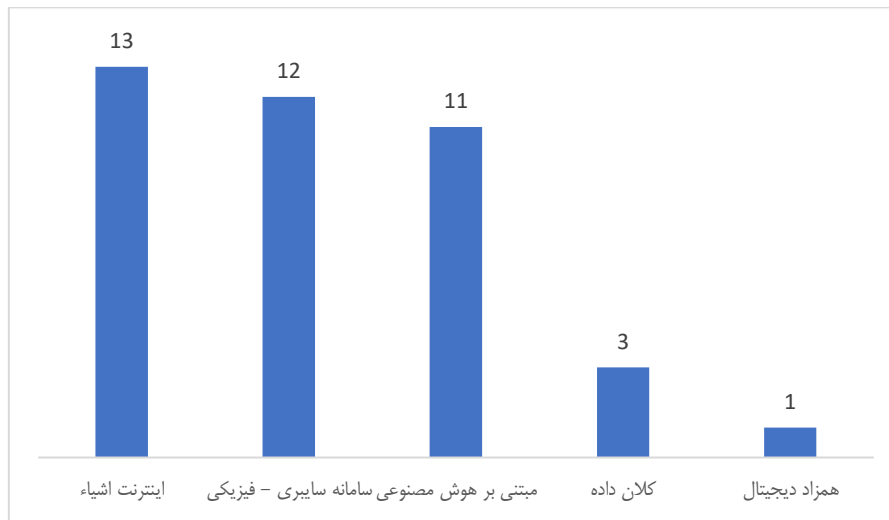
جدول ۴. خلاصه سطوح به‌کارگیری صنعت ۴.۰ در مقالات مرور شده

سطح	تعریف	تعداد مقالات	نمونه‌هایی از مقالات مرور شده
سطح ۱	ذکر مفهومی	۴	Gu et al. (2022), Wu et al. (2023)
سطح ۲	تأثیر غیرمستقیم	۷	Jiang et al. (2025), Çil et al. (2023)
سطح ۳	جزء مدل/داده	۱۰	Mohammadi et al. (2023), Khatua et al. (2024)
سطح ۴	هسته راه‌حل	۶	Singh et al. (2022), Ritzinger et al. (2022), Li et al. (2025)

نقش و جایگاه فناوری‌های صنعت ۴.۰ در مدل‌های مسیریابی

فناوری‌های صنعت ۴.۰ کاربردهای گسترده‌ای در مسائل مسیریابی دارند. در این میان، فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی بیشترین سهم را به خود اختصاص داده‌اند و در بخش قابل توجهی از مقالات به‌عنوان هسته اصلی فرآیند تصمیم‌گیری یا حل مسئله مورد استفاده قرار گرفته‌اند. براساس شکل ۸، پرکاربردترین فناوری‌های صنعت ۴.۰ در مقالات مورد بررسی شامل اینترنت اشیا، سامانه‌های سایبری-فیزیکی، فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، کلان‌داده و همزاد دیجیتال بوده‌اند.

^۱. Edge Computing

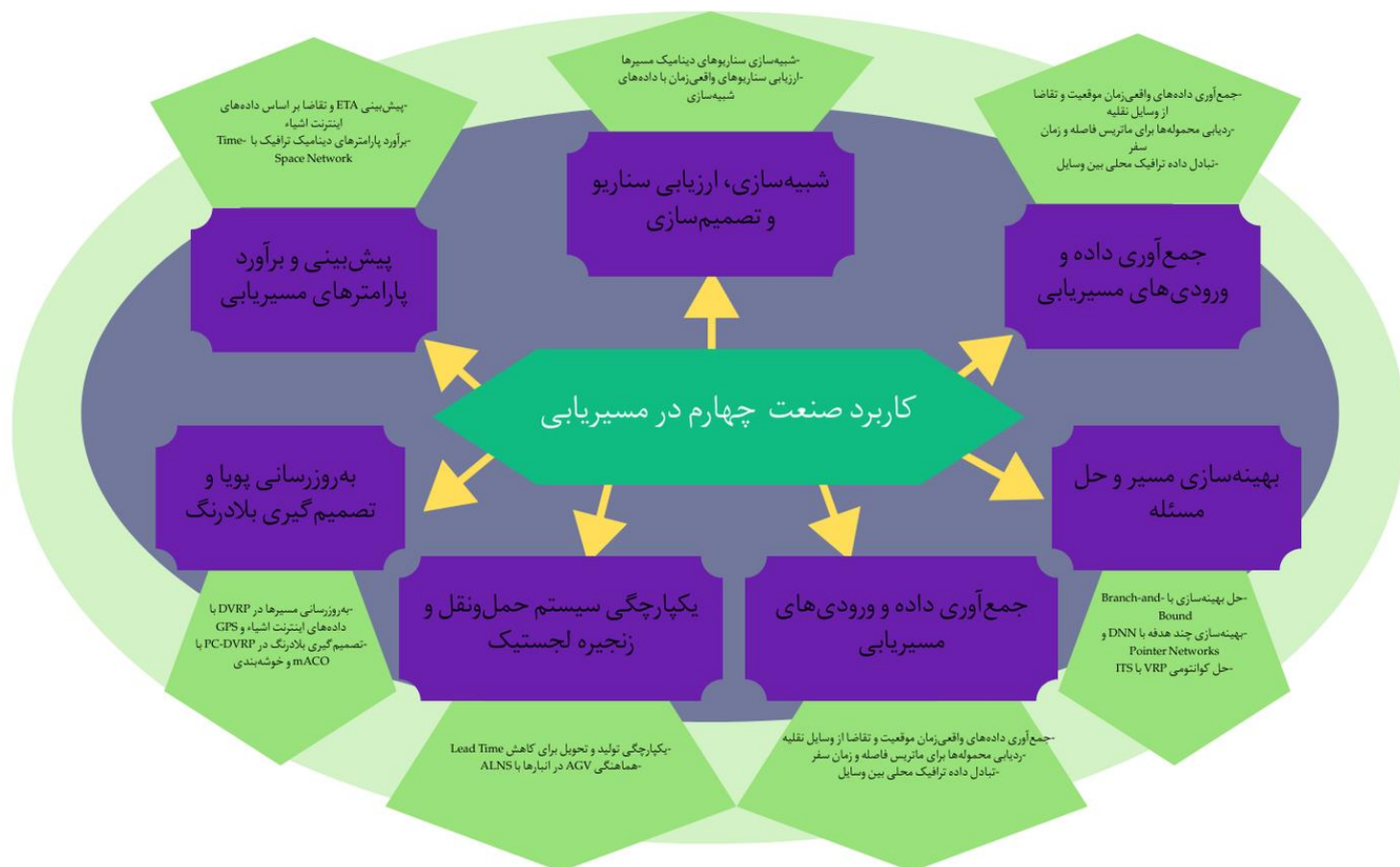


شکل ۸. فناوری مورد استفاده در مسائل مسیریابی

این فناوری‌ها عمدتاً در بهبود فرآیند بهینه‌سازی مسیر، یادگیری الگوهای ترافیکی و تطبیق‌پذیری راه‌حل‌ها به کار رفته‌اند. اینترنت اشیاء دومین فناوری پرکاربرد بوده و عمدتاً در مرحله جمع‌آوری داده‌های بلادرنگ، نظیر وضعیت ترافیک، موقعیت وسایل نقلیه و شرایط محیطی، مورد استفاده قرار گرفته است. در این دسته از مقالات، IoT نقش ورودی‌ساز (data enabler) برای مدل‌های مسیریابی را ایفا کرده و به صورت مستقیم ساختار مسئله را تغییر نداده است. در مقابل، فناوری‌هایی نظیر همزاد دیجیتال، زنجیره بلوکی و سامانه‌های سایبری-فیزیکی حضور بسیار محدودی در ادبیات دارند. تنها در تعداد اندکی از مطالعات، مانند ریتزینگر^۱ و همکاران (۲۰۲۲)، همزاد دیجیتال به عنوان ابزاری برای شبیه‌سازی سیستم حمل‌ونقل و ارزیابی سناریوهای تصمیم‌گیری استفاده شده است. این موارد را می‌توان به عنوان رویکردهای نوظهور و پیشرو در ادبیات تلقی کرد که هنوز به جریان غالب پژوهش تبدیل نشده‌اند. به‌طور کلی، می‌توان گفت که در اغلب مقالات، صنعت ۴۰٪ بیشتر به عنوان ابزار پشتیبان^۲ برای بهبود داده‌ها یا حل مسئله به کار رفته و کمتر شاهد بازتعریف بنیادی ساختار مسئله مسیریابی براساس این فناوری‌ها هستیم. (شکل ۹)

^۱. Ritzinger

^۲. enabling technology



شکل ۹. کاربرد استخراج‌شده صنعت ۴.۰ در مسیریابی وسایل نقلیه با توجه به ۲۷ مقاله مرور شده

بررسی نتایج و پیامدهای اقتصادی، زیست‌محیطی و عملکردی و نتایج گزارش شده در مقالات نشان می‌دهد که بیشترین تأکید بر بهبود عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل بوده است. صرفه‌جویی در انرژی و کاهش انتشار آلاینده‌ها تنها در بخشی از مطالعات گزارش شده‌اند و تأثیرات اجتماعی کمترین توجه را به خود اختصاص داده‌اند. این الگو بیانگر آن است که ارزیابی پیامدهای صنعت ۴.۰ در مسیریابی عمدتاً از منظر کارایی عملیاتی انجام شده و ابعاد اجتماعی و کلان‌پایداری هنوز کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. جدول شماره ۵ که از بررسی کامل متن ۲۷ مقاله استخراج‌شده و الگوهای غالب کاربرد فناوری‌های صنعت ۴.۰ در فرآیند مسیریابی وسایل نقلیه را نشان می‌دهد. دسته «بهینه‌سازی مسیر و حل مسئله» با ۳ تکرار، برجسته‌ترین الگو را تشکیل می‌دهد که بر پایه زیرشاخه‌های «بهینه‌سازی پیشرفته (برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط خطی، نرم‌افزار گوروبی)»، «هوش مصنوعی و متهوربستیک‌ها (الگوریتم ژنتیک یادگیری ماشین - بهبودیافته، یادگیری تقویتی عمیق)» و «الگوریتم بهینه‌سازی کوانتومی تقریبی و فرمول‌بندی مسئله بهینه‌سازی باینری نامتقارن» استوار است. این الگو بر روابط مستقیم میان فناوری‌های محاسباتی پیشرفته، مانند شبکه‌های زمان-فضا و الگوریتم‌های کوانتومی، و مرحله «حل» تأکید دارد؛ جایی که این فناوری‌ها برای تولید راه‌حل‌های بهینه در مدل‌های مسئله سخت محاسباتی (NP-hard) به کار می‌روند.

جدول ۵. مرور نظام‌مند مقالات نهایی شده کاربرد فناوری‌های صنعت ۴.۰ در مسیریابی وسایل نقلیه (نوع فناوری، نتایج و پیامدها)

مرحله مورد استفاده در فرآیند مسیریابی	توضیح مختصر و علمی کاربرد در مسیریابی	زیرشاخه کاربردی	دسته اصلی کاربرد صنعت ۴.۰
ورودی	جمع‌آوری داده‌های واقعی زمان موقعیت و تقاضا از وسایل نقلیه	اینترنت اشیا و GPS	جمع‌آوری داده و ورودی‌های مسیریابی
ورودی	ردیابی محموله‌ها برای ماتریس فاصله و زمان سفر	GNSS و RFID	
ورودی	تبادل داده ترافیک محلی بین وسایل	ارتباط خودرو به خودرو (V2V)	پیش‌بینی و برآورد پارامترهای مسیریابی
مدل	پیش‌بینی ETA و تقاضا براساس داده‌های اینترنت اشیا	تحلیل پیش‌بینی‌کننده با هوش مصنوعی	
مدل	برآورد پارامترهای دینامیک ترافیک با Time-Space Network	کلان‌داده و رایانش ابری	به‌روزرسانی پویا و تصمیم‌گیری بالادرنگ
اجرا	به‌روزرسانی مسیرها در DVRP با داده‌های اینترنت اشیا و GPS	تحلیل داده‌های واقعی زمان	
اجرا	تصمیم‌گیری بالادرنگ در PC-DVRP با mACO و خوشه‌بندی	یادگیری آنلاین و UCB1	بهینه‌سازی مسیر و حل مسئله
حل	حل بهینه‌سازی با Branch-and-Bound	بهینه‌سازی پیشرفته (MIQP)، Gurobi	
حل	بهینه‌سازی چند هدفه با DNN و Pointer Networks	هوش مصنوعی و متاهوریستیک‌ها (ML-VLGA)، DRL	
حل	حل کوانتومی VRP با ITS	QUBO و QAOA	شبیه‌سازی، ارزیابی سناریو و تصمیم‌سازی
ارزیابی	شبیه‌سازی سناریوهای دینامیک مسیرها	دوقلو دیجیتال	
ارزیابی	ارزیابی سناریوهای واقعی زمان با داده‌های شبیه‌سازی	API گوگل مپس و مدل پواسون	یکپارچگی سیستم حمل‌ونقل و زنجیره لجستیک
مدل و اجرا	یکپارچگی تولید و تحویل برای کاهش Lead Time	یکپارچگی ERP و CPS	
اجرا	هماهنگی AGV در انبارها با ALNS	AGV و محاسبات لبه	

در دسته‌بندی جمع‌آوری داده و ورودی‌های مسیریابی نیز با ۳ تکرار، الگوی موازی و مکمل را نشان می‌دهد که بر جمع‌آوری داده‌های واقعی زمان متکی است. زیرشاخه‌های «اینترنت اشیا» و سیستم موقعیت‌یابی جهانی»، «شناسایی فرکانس رادیویی و سیستم ناوبری ماهواره‌ای جهانی» و «ارتباط خودرو به خودرو» روابط کلیدی میان حسگرهای توزیع‌شده و مرحله «ورودی» را برجسته می‌کنند؛ به‌گونه‌ای که داده‌های مکانی، ترافیکی محلی و ردیابی محموله مستقیماً ماتریس‌های فاصله، زمان سفر و تقاضا را تولید و تغذیه می‌کنند. دسته‌های فرعی‌تر شامل پیش‌بینی و برآورد پارامترهای مسیریابی، به‌روزرسانی پویا و تصمیم‌گیری بالادرنگ، شبیه‌سازی، ارزیابی سناریو و تصمیم‌سازی و یکپارچگی سیستم حمل‌ونقل و زنجیره لجستیک الگوهای کم‌تر غالب را نمایش می‌دهند. روابط مهم مشاهده‌شده عبارتند از: وابستگی مرحله مدل به پیش‌بینی (مانند تحلیل پیش‌بینی‌کننده با هوش مصنوعی و کلان‌داده همراه با رایانش ابری)، پیوند مرحله اجرا به به‌روزرسانی پویا تحلیل داده‌های واقعی زمان و یادگیری آنلاین با الگوریتم مرز اطمینان بالایی، و ارتباط مرحله ارزیابی با شبیه‌سازی (دوقلو دیجیتال و رابط برنامه‌نویسی کاربردی گوگل مپس همراه با مدل پواسون). عدم توازن‌های داده‌ها شامل تمرکز نامتوازن بر مراحل «ورودی» و «حل» (هر کدام با ۳ تکرار) در برابر مراحل «مدل»، «اجرا» و «ارزیابی» (هر کدام با ۲ تکرار) است. حوزه‌های کم‌مطالعه‌شده، براساس تعداد تکرارها، پیش‌بینی و برآورد پارامترها و یکپارچگی سیستم حمل‌ونقل و زنجیره لجستیک را نشان می‌دهند که تنها ۲ تکرار دارند و نسبت به الگوهای غالب، توسعه کمتری یافته‌اند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

این پژوهش با انجام یک مرور نظام‌مند بر ادبیات مسیریابی وسایل نقلیه در بستر صنعت ۴.۰، تصویری تحلیلی از وضعیت پژوهش در این حوزه ارائه کرده و تلاش نموده است از سطح گزارش‌های پراکنده و موردی فراتر رفته و به ترسیم یک نقشه راه مفهومی و روش‌شناختی دست یابد. تحلیل ۲۷ مقاله منتخب نشان داد که طی دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۵، تمرکز اصلی پژوهش‌ها بر ترکیب الگوهای کلاسیک مساله مسیریابی با فناوری‌های نوین داده‌محور بوده است، اما این ترکیب عمدتاً در سطح طراحی الگوریتمی باقی مانده و کمتر به سطح معماری‌های سیستم‌محور و پیاده‌سازی در محیط‌های واقعی صنعت ۴.۰ گسترش یافته است. از منظر نظری، مرور انجام‌شده چند خلأ و شکاف کلیدی را در ادبیات آشکار کرده است. نخست آن که تفکیک دقیق میان انواع زیرمسائل VRP در بستر صنعت ۴.۰ (نظیر CVRP، G-VRP، DVRP و TVRP) در بسیاری از مطالعات رعایت نشده و پیامدهای مفهومی و محاسباتی انتخاب هر یک از این زیرمسائل به‌صورت نظام‌مند تبیین نشده است. در نتیجه، مقایسه نتایج پژوهش‌ها و انتقال‌پذیری یافته‌ها میان زمینه‌های مختلف دشوار شده و بدنه دانش موجود از انسجام کافی برخوردار نیست. دوم آن که در بخش قابل توجهی از مطالعات، فناوری‌های صنعت ۴.۰ صرفاً در نقش «ابزار» برای تأمین داده یا افزایش قدرت محاسباتی ظاهر می‌شوند، بدون آن که جایگاه آنها در قالب یک معماری یکپارچه CPS-IoT و نقششان در تحول ساختار تصمیم‌گیری و مدل‌های کسب‌وکار به‌صورت تحلیلی و نظری واکاوی شود. از سوی دیگر، تحلیل محتوای مقالات نشان داد که اگرچه پژوهشگران از طیفی از روش‌های دقیق، ابتکاری و فرابابتکاری برای حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه بهره گرفته‌اند، اما رابطه میان انتخاب رویکرد حل، ویژگی‌های فناوری مورد استفاده و خصوصیات محیط تصمیم‌گیری (ایستا/پویا، قطعی/تصادفی، تک‌هدفه/چندهدفه) در غالب موارد به‌صورت صریح مدلسازی نشده است. این فقدان پیوند تحلیلی باعث شده است که ادبیات موجود نتواند راهنمایی روشن برای انتخاب روش حل مناسب در شرایط عملی مختلف ارائه دهد و همچنین امکان تعمیم نتایج تجربی به سناریوهای جدید محدود شود. علاوه بر این، ابعاد تاب‌آوری، پایداری محیط‌زیستی و ریسک‌های عملیاتی ناشی از وابستگی به زیرساخت‌های دیجیتال در صنعت ۴.۰، در اکثریت مطالعات یا نادیده گرفته شده یا در حاشیه توجه قرار گرفته است، در حالی که یافته‌های مرور نشان می‌دهد ادغام IoT، CPS و AI در VRP می‌تواند هم فرصت‌های بهبود کارایی و هم آسیب‌پذیری‌های جدیدی برای شبکه‌های حمل‌ونقل ایجاد کند. از سوی دیگر، تحلیل محتوای مقالات نشان داد که اگرچه پژوهشگران از طیفی از روش‌های دقیق، ابتکاری و فرابابتکاری برای حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه بهره گرفته‌اند، اما رابطه میان انتخاب رویکرد حل، ویژگی‌های فناوری مورد استفاده و خصوصیات محیط تصمیم‌گیری (ایستا/پویا، قطعی/تصادفی، تک‌هدفه/چندهدفه) در غالب موارد به‌صورت صریح مدلسازی نشده است.

در راستای پر کردن این شکاف‌های تحلیلی و ارائه یک نقشه راه منسجم، در پژوهش حاضر یک چارچوب مفهومی سه‌بعدی پیشنهاد شده که نشان می‌دهد ادغام فناوری‌های صنعت ۴.۰ و VRP صرفاً یک بهبود فنی تدریجی نبوده، بلکه منجر به ظهور یک «پارادایم تصمیم‌گیری چندلایه و داده‌محور» در لجستیک و مدیریت ناوگان خواهد شد. این چارچوب تعامل پویا بین ماهیت مسئله VRP، نقش فناوری‌های صنعت ۴.۰ و سطح تصمیم‌گیری را ترسیم می‌کند. چارچوب مذکور تکامل کاربرد فناوری‌ها را از نقش پشتیبان در حل مسائل کلاسیک، به سمت نقش پیش‌ران و بازتعریف‌کننده در مسائل پویا، تطبیقی و راهبردی نشان می‌دهد. بعد اول، ماهیت مسئله VRP از کلاسیک تا هوشمند و تطبیقی است که در این بُعد، مسیر تکاملی از VRP کلاسیک (ایستا) که در آن فناوری‌ها نقش بهینه‌ساز پس از وقوع را دارند، به سمت VRP پویا و تصادفی (DVRP) که فناوری‌هایی مانند IoT و CPS تسهیل‌گر تطبیق بالادرنگ می‌شوند، ترسیم می‌گردد. در سطح پیشرفته‌تر، VRP پیش‌بینانه و چندهدفه متکی بر کلان‌داده و هوش مصنوعی برای پیش‌بینی و هماهنگی ظاهر می‌شود و در نهایت، VRP خودمختار و شناختی با بهره‌گیری از دوقلوی دیجیتال و یادگیری تقویتی عمیق ترسیم می‌شود. بُعد دوم این چارچوب، نقش فناوری صنعت ۴.۰ (از ابزار تا معماری) است که در واقع این بُعد سلسله‌مراتبی از نقش فناوری‌ها را نشان می‌دهد که از لایه پایه داده و اتصال مانند IoT و RFID به عنوان تسهیل‌گر حرکت به سمت مدل‌های پویا، تا لایه تحلیل (مانند هوش مصنوعی و کلان‌داده) به‌عنوان موتور تبدیل داده به دانش و در نهایت لایه تصمیم و اجرا مانند CPS و دوقلوهای دیجیتال که در آن فناوری‌ها به چارچوب تصمیم‌گیری یکپارچه

تبدیل می‌شوند. بُعد سوم نیز سطح تصمیم‌گیری (از عملیاتی تا راهبردی) را نشان داده که این بُعد، تناظر طبیعی بین گونه‌های VRP، فناوری‌های پشتیبان و افق زمانی تصمیم‌گیری را مشخص می‌کند. مسائل عملیاتی مانند DVRP با فناوری‌های واکنش بلادرنگ مانند محاسبات لبه‌ای، مسائل تاکتیکی مانند CVRP با الگوریتم‌های بهینه‌سازی ابری و مسائل راهبردی مانند G-VRP چندهدفه با ابزارهای شبیه‌سازی و تحلیل پیش‌بینانه (مانند دوقلوی دیجیتال) پشتیبانی می‌شوند.

از منظر روش‌شناختی، مرور نظام‌مند انجام‌شده ضمن به‌کارگیری راهنمای PRISMA 2020، نشان داد که هنوز هم در بخشی از ادبیات، شفافیت کافی در گزارش مراحل انتخاب، غربالگری و ارزیابی کیفیت مقالات وجود ندارد و در مواردی معیارهای ورود و خروج به‌طور صریح بیان نشده است. این وضعیت نه تنها ارزیابی انتقادی یافته‌ها را دشوار می‌سازد، بلکه مانع از بازتولید و به‌روزرسانی منظم مرورها در این حوزه می‌شود؛ از این رو یکی از دستاوردهای پژوهش حاضر، ارائه الگویی برای طراحی و گزارش مرور نظام‌مند ادبیات در حوزه مسئله مسیریابی وسیله نقلیه و صنعت ۴.۰ است که می‌تواند در مطالعات بعدی مورد اقتباس قرار گیرد. به‌علاوه، ساختار کدگذاری پیشنهادی برای طبقه‌بندی نوع مسئله، رویکرد حل، فناوری‌های توانمندساز و شاخص‌های عملکرد، زمینه را برای انجام فراتحلیل‌های کمی در پژوهش‌های آتی مهیا می‌سازد. باوجود این دستاوردها، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که بدنه ادبیات موجود هنوز از چند جهت با محدودیت مواجه است. نخست، تمرکز جغرافیایی و بخشی قسمت عمده مطالعات بر حوزه‌های خاص (مانند مدیریت پسماند، توزیع کالا در شهرها یا لجستیک بندری) مانع از تعمیم آسان نتایج به سایر صنایع شده است و نیاز به مطالعات مقایسه‌ای میان صنایع مختلف به‌وضوح احساس می‌شود. دوم، اکثر مطالعات از داده‌های شبیه‌سازی شده یا مجموعه داده‌های استاندارد استفاده کرده‌اند و نمونه‌های استفاده از داده‌های میدانی برخط و محیط‌های آزمایشی (testbed) صنعت ۴.۰ محدود است؛ امری که فاصله میان مدل‌های پژوهشی و الزامات پیاده‌سازی واقعی را برجسته می‌کند. سوم، تنها در بخش کوچکی از مقالات، ارزیابی جامع شامل شاخص‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی به‌طور همزمان صورت گرفته و در نتیجه، ادبیات موجود کمتر به سمت مدل‌های VRP چندهدفه با در نظر گرفتن اهداف پایداری حرکت کرده است. بر پایه این تحلیل‌ها، می‌توان پیشنهادهای کاربردی، مدیریتی و پژوهشی متعددی را مطرح کرد که در ادامه به تفکیک سه سطح ارائه می‌شود.

پیشنهاد‌های کاربردی و سیاستی

۱. پیشنهاد می‌شود سیاست‌گذاران حوزه حمل‌ونقل و لجستیک، توسعه زیرساخت‌های داده‌محور صنعت ۴.۰ (از قبیل شبکه‌های IoT، سامانه‌های موقعیت‌یابی پیشرفته و پلتفرم‌های یکپارچه ERP) را به‌عنوان پیش‌نیاز بهبود مسیریابی وسایل نقلیه در دستور کار قرار دهند و از تدوین مقررات تسهیل‌گر برای تبادل امن داده‌های لجستیکی حمایت کنند.
۲. با توجه به پتانسیل فناوری‌های صنعت ۴.۰ در کاهش هزینه‌ها و پیامدهای زیست‌محیطی حمل‌ونقل، توصیه می‌شود نهادهای تنظیم‌گر، مشوق‌هایی برای سرمایه‌گذاری در سامانه‌های هوشمند مسیریابی و ناوگان‌های متصل و خودکار (از جمله AGVها) در نظر بگیرند و چارچوب‌های ارزیابی هزینه-فایده مبتنی بر شاخص‌های چندبعدی کارایی، پایداری و تاب‌آوری را توسعه دهند.
۳. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که نبود استانداردهای مشترک برای داده‌ها و پروتکل‌های ارتباطی، مانع یکپارچه‌سازی کامل VRP در مقیاس شبکه‌ای می‌شود؛ از این رو پیشنهاد می‌شود نهادهای بین‌سازمانی و اتحادیه‌های حرفه‌ای، تدوین استانداردهای فنی و داده‌ای را در دستور کار قرار داده و سازوکارهایی برای اشتراک‌گذاری داده‌ها میان بازیگران مختلف زنجیره تأمین ایجاد کنند.

پیشنهاد‌های مدیریتی و اجرایی

۱. مدیران لجستیک و زنجیره تأمین در سازمان‌های تولیدی و خدماتی می‌توانند از چارچوب ارائه‌شده در این پژوهش برای انتخاب آگاهانه نوع مسئله VRP متناسب با شرایط عملیاتی خود (ثابت یا پویا بودن تقاضا، محدودیت‌های زمانی، چندمرکزه بودن

شبکه و ... و همچنین تطبیق فناوری‌های صنعت ۴.۰ با این ویژگی‌ها استفاده کنند. این رویکرد مانع از به‌کارگیری راه‌حل‌های فناوری محور غیرمتناسب با ماهیت مسئله و منجر به تخصیص کارا تر سرمایه‌گذاری‌ها می‌شود.

۲. توصیه می‌شود سازمان‌ها در مسیر استقرار سامانه‌های مسیریابی مبتنی بر صنعت ۴.۰، به‌جای تمرکز صرف بر خرید نرم‌افزار، به طراحی معماری یکپارچه CPS-IoT-ERP توجه کنند و فرآیندهای جمع‌آوری، پاک‌سازی، ذخیره‌سازی و تحلیل داده‌های حمل‌ونقل را بازطراحی نمایند. چنین نگاهی، امکان بهره‌برداری پایدار از الگوریتم‌های پیشرفته مسیریابی و یادگیری مستمر از داده‌های عملیاتی را فراهم می‌کند.

۳. یافته‌ها نشان می‌دهد که در بسیاری از محیط‌های عملی، ترکیب الگوریتم‌های ابتکاری و فرآینت‌کاری با تجربه خبرگان و قوانین سرانگشتی می‌تواند به نتایج بهتری منجر شود؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود مدیران، رویکردهای تصمیم‌یار و سیستم‌های پشتیبان تصمیم (DSS) را توسعه دهند که امکان تلفیق قضاوت انسانی با خروجی مدل‌های VRP را فراهم آورده و در عین حال، سازوکارهای شفافیت و توضیح‌پذیری تصمیمات را تقویت کنند.

۴. با توجه به ریسک‌های امنیتی و عملیاتی ناشی از اتصال گسترده زیرساخت‌های حمل‌ونقل، توصیه می‌شود در طراحی و پیاده‌سازی سامانه‌های صنعت ۴.۰ محور، ملاحظات امنیت سایبری، تداوم کسب‌وکار و مدیریت ریسک‌های زنجیره تأمین از ابتدا در معماری سیستم لحاظ شود و سناریوهای شکست و تاب‌آوری شبکه به‌طور منظم مورد آزمون قرار گیرد.

پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی

۱. یکی از شکاف‌های اصلی شناسایی شده، کمبود مدل‌های تلفیقی است که در آن‌ها انواع زیرمسائل VRP (مانند DVRP، G-VRP و TVRP) در قالب یک چارچوب چندلایه و چندهدفه، همراه با معماری‌های CPS و IoT مدل‌سازی شده باشند؛ از این‌رو، انجام پژوهش‌هایی که به توسعه مدل‌های یکپارچه و سناریوهای شبیه‌سازی نزدیک به واقعیت بپردازند، ضروری به نظر می‌رسد.

۲. پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده به‌طور جدی‌تر به استفاده از داده‌های میدانی برخط، محیط‌های آزمایشگاهی صنعت ۴.۰ و مطالعات موردی عمیق در صنایع مختلف (مانند خرده‌فروشی، بهداشت و درمان، صنایع معدنی و انرژی) روی آورند تا امکان آزمون تجربی مدل‌ها در شرایط واقعی فراهم شود و شکاف میان پژوهش و عمل کاهش یابد.

۳. با توجه به محدود بودن توجه به ابعاد پایداری، انجام پژوهش‌های VRP چندهدفه که اهداف اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی را هم‌زمان در بستر صنعت ۴.۰ در نظر می‌گیرند، می‌تواند به توسعه سیاست‌ها و راهبردهای پایداری محور در شبکه‌های حمل‌ونقل کمک کند.

۴. یافته‌ها نشان می‌دهد که ادغام الگوریتم‌های یادگیری تقویتی عمیق، شبکه‌های عصبی گراف و روش‌های الهام‌گرفته از محاسبات کوانتومی (نظیر QAOA) با مدل‌های کلاسیک VRP هنوز در مراحل اولیه است؛ لذا پژوهش‌های آینده می‌توانند بر طراحی چارچوب‌های ترکیبی نوآورانه و مقایسه نظام‌مند عملکرد آنها در سناریوهای مختلف تمرکز کنند.

۵. در سطح روش‌شناسی مرور ادبیات، پیشنهاد می‌شود SLRهای بعدی در این حوزه با استفاده از رویکردهای علم‌سنجی، تحلیل شبکه استنادی و فراتحلیل کمی، به‌صورت منظم به‌روز شوند تا ضمن شناسایی خوشه‌های پژوهشی نوظهور، مسیرهای تحول دانش و شکاف‌های جدید در تقاطع مسئله مسیریابی وسیله نقلیه و صنعت ۴.۰ به‌طور پویا رصد شود.

محدودیت‌های پژوهش حاضر

این مرور بر ۲۷ مقاله محدود به سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۲۵ و پایگاه‌های جستجوی مشخص شده است، که مطالعات خاکستری یا غیرانگلیسی را حذف کرده باشد. تمرکز بر جنبه‌های فنی (نوع مسئله، فناوری) بدون تحلیل کمی عملکرد (مانند GAP راه‌حل‌ها) نیز محدودیت ایجاد می‌کند. همچنین، عدم دسترسی به داده‌های تجربی کامل مقالات، تحلیل را به سطح توصیفی محدود ساخته است.

مجموعه این نتیجه‌گیری‌ها و پیشنهادهای نشان می‌دهد که مسأله مسیریابی وسایل نقلیه در بستر صنعت ۴۰۰، نه تنها به‌عنوان یک حوزه پژوهشی پویا و در حال گسترش، بلکه به‌عنوان یکی از محورهای کلیدی تحول دیجیتال در زنجیره‌های تأمین آینده مطرح است و نیازمند تعامل مستمر میان پژوهشگران، سیاست‌گذاران و مدیران اجرایی برای بهره‌گیری حداکثری از ظرفیت‌های آن است. مرور نظام‌مند ۲۷ مقاله منتخب بر کاربرد فناوری‌های صنعت ۴۰۰ در مسائل مسیریابی وسایل نقلیه، الگوهای روشی را آشکار ساخت. از منظر کلاسیک (جدول ۲)، تمرکز بر CVRP و TVRP (با ناوگان همگن ۷۴.۱٪) و توابع هدف اقتصادی (هزینه-مسافت: پرتکرارترین در مدل‌های چند هدفه) غالب است، در حالی که روش‌های فراابتکاری و ترکیبی (شکل ۷) بر الگوریتم‌های دقیق برتری دارند. از منظر صنعت ۴۰۰ (جدول ۳ و جدول استخراج‌شده)، هوش مصنوعی (۲۲ تکرار) و اینترنت اشیا (۱۵ تکرار) پرکاربردترین فناوری‌ها هستند که عمدتاً در مراحل «بهینه‌سازی و حل» (۳ تکرار) و «جمع‌آوری داده» (۳ تکرار) عمل می‌کنند. پیامدها نیز، با تمرکز کمتر بر پایداری زیست‌محیطی (۳۷٪) و اجتماعی (۲۲.۲٪) بر بهبود عملکرد (۸۱.۵٪) و اقتصادی (۶۶.۷٪) تأکید دارند. این یافته‌ها نشان‌دهنده هم‌گرایی فناوری‌های دیجیتال با مدل‌های سنتی VRP است، جایی که صنعت ۴۰۰ بیشتر نقش «پشتیبان داده و حل» تا بازتعریف بنیادی مسئله ایفا می‌کند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در نگارش این مقاله مساوی بوده است.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر هیچ‌گونه حمایت مالی از سازمان‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

سپاسگزاری

پژوهشگران مراتب سپاس خود را از تمامی مشارکت‌کنندگان در پژوهش اعلام می‌نمایند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

منابع

کاظمی، محبوبه؛ محمدی زنجیرانی، داریوش و اسماعیلیان، مجید (۱۴۰۰). مدل چندهدفه مکان‌یابی مراکز بارانداز عبوری، زمانبندی و مسیریابی هم‌زمان وسایل نقلیه، تحت بخش‌بندی تقاضا برای اقلام فاسدشدنی. مدیریت صنعتی، ۱۳(۴)، ۶۰۶-۶۳۳.

<https://doi.org/10.22059/imj.2022.333499.1007883>

References

- Abdirad, M., Krishnan, K. K., & Gupta, D. (2023). Dynamic multi-depot vehicle routing problem in the era of Industry 4.0. *International Journal of Procurement Management*, 18(1), 68-81.
- Abdirad, M., Krishnan, K., & Gupta, D. (2021). A two-stage metaheuristic algorithm for the dynamic vehicle routing problem in Industry 4.0 approach. *Journal of Management Analytics*, 8(1), 69-83.
- Abdirad, M., Krishnan, K., & Gupta, D. (2022). Three-stage algorithms for the large-scale dynamic vehicle routing problem with Industry 4.0 approach. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 9(4), 313–329. <https://doi.org/10.1080/23270012.2022.2113161>
- Agarwal, S., Kumar, N., Tyagi, M., & Garg, R. K. (2025). Integrating soft computing techniques for optimizing green vehicular communications and networking in circular digital supply chain. *Journal of Science and Technology Policy Management*.
- Alesiani, F., Ermis, G., & Gkiotsalitis, K. (2022). Constrained clustering for the capacitated vehicle routing problem (cc-cvrp). *Applied Artificial Intelligence*, 36(1), 1995658.
- Alp, O., Tan, T., & Udenio, M. (2022). Transitioning to sustainable freight transportation by integrating fleet replacement and charging infrastructure decisions. *Omega: The International Journal of Management Science*, 109, 102595.
- Altaf, M. M., Roshdy, A. S., & AlSagri, H. S. (2022). Deep Reinforcement Learning Model for Blood Bank Vehicle Routing Multi-Objective Optimization. *Computers, Materials & Continua*, 70(2).
- Arnold, F., Gendreau, M., & Sörensen, K. (2019). Efficiently solving very large-scale routing problems. *Computers & Operations Research*, 107, 32–42.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15), 2787-2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Azad, U., Behera, B. K., Ahmed, E. A., Panigrahi, P. K., & Farouk, A. (2022). Solving vehicle routing problem using quantum approximate optimization algorithm. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(7), 7564-7573.
- Baker, B. M., & Ayechew, M. (2003). A genetic algorithm for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 30(5), 787-800. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(02\)00051-5](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(02)00051-5)
- Baldacci, R., Mingozzi, A. A unified exact method for solving different classes of vehicle routing problems. *Math. Program.* 120, 347–380 (2009). <https://doi.org/10.1007/s10107-008-0218-9>
- Baradaran, V., Shafaei, A., & Hosseinian, A. H. (2019). Stochastic vehicle routing problem with heterogeneous vehicles and multiple prioritized time windows: Mathematical modeling and solution approach. *Computers & Industrial Engineering*, 131, 187-199. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.03.047>
- Baryannis, G., Dani, S., & Antoniou, G. (2019). Predictive analytics and artificial intelligence in supply chain management. *Computers & Operations Research*, 113, 357-377.
- Begić, H., Galić, M., & Klanšek, U. (2024). Active BIM system for optimized multi-project ready-mix-concrete delivery. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 31(12), 5057-5084.

- Bektaş, T., & Laporte, G. (2011). The pollution-routing problem. *Transportation research part b: methodological*, 45(8), 1232-1250. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2011.02.004>
- Boumpa, E., Tsoukas, V., Chioktour, V., Kalafati, M., Spathoulas, G., Kakarountas, A., Trivellas, P., Reklitis, P., & Malindretos, G. (2023). A Review of the Vehicle Routing Problem and the Current Routing Services in Smart Cities. *Analytics*, 2(1), 1-16. <https://doi.org/10.3390/analytics2010001>
- Braekers, K., Ramaekers, K., Van Nieuwenhuysse, I. (2016). The vehicle routing problem: state of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*, 99, 300-313.
- Bräysy, O., & Gendreau, M. (2005). Vehicle routing problem with time windows, Part I: Route construction and local search algorithms. *Transportation science*, 39(1), 104-118. <https://doi.org/10.1287/trsc.1030.0056>
- Campbell, A. M., & Wilson, J. H. (2014). Forty years of periodic vehicle routing. *Networks*, 63(1), 2–15.
- Chen, Y. T., Sun, E. W., Chang, M. F., & Lin, Y. B. (2021). Pragmatic real-time logistics management with traffic IoT infrastructure: Big data predictive analytics of freight travel time for Logistics 4.0. *International Journal of Production Economics*, 238, 108157.
- Çil, Z. A., Öztöp, H., Kenger, Z. D., & Kizilay, D. (2023). Integrating distributed disassembly line balancing and vehicle routing problem in supply chain: Integer programming, constraint programming, and heuristic algorithms. *International Journal of Production Economics*, 265, 109014.
- Clickpost. (2025). 25 logistics statistics & industry insights in 2025. Retrieved from <https://www.clickpost.ai/blog/logistics-statistics-and-insights>
- Clickpost. (2025). Logistics statistics and insights: Global logistics industry trends. Retrieved September 12, 2025, from <https://www.clickpost.ai/blog/logistics-statistics-and-insights>
- Cordeau, J. F., Gendreau, M., & Laporte, G. (1997). A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems. *Networks: An International Journal*, 30(2), 105-119. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0037\(199709\)30:2%3C105::AID-NET5%3E3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0037(199709)30:2%3C105::AID-NET5%3E3.0.CO;2-G)
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1), 80-91. <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80>
- Elshaer, R., & Awad, H. (2020). A taxonomic review of metaheuristic algorithms for solving the vehicle routing problem and its variants. *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106242.
- Fatorachian, H., Kazemi, H., & Pawar, K. (2025). Digital Transformation for Sustainable Transportation: Leveraging Industry 4.0 Technologies to Optimize Efficiency and Reduce Emissions. *Future Transportation*, 5(2), 34.
- Fernández Gil, A., Lalla-Ruiz, E., Gómez Sánchez, M., & Castro, C. (2022). A review of heuristics and hybrid methods for green vehicle routing problems considering emissions. *Journal of Advanced Transportation*, 2022(1), 5714991. <https://doi.org/10.1155/2022/5714991>

- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International journal of production economics*, 210, 15-26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B., Khorasani, M., Rosen, D., Stucker, B., & Khorasani, M. (2021). *Additive manufacturing technologies* (Vol. 17, pp. 160-186). Cham, Switzerland: Springer.
- Govindan, K., Fard, F. S. N., Asgari, F., Sorooshian, S., & Mina, H. (2024). A bi-objective location-routing model for the healthcare waste management in the era of logistics 4.0 under uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 276, 109342.
- Govindan, K., Soleimani, H., & Kannan, D. (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. *European journal of operational research*, 240(3), 603-626. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.07.012>
- Gu, Z., Zhu, Y., Wang, Y., Du, X., Guizani, M., & Tian, Z. (2022). Applying artificial bee colony algorithm to the multidepot vehicle routing problem. *Software: Practice and Experience*, 52(3), 756-771.
- Ivanov, D., & Dolgui, A. (2021). A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. *Production Planning & Control*, 32(9), 775-788. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1768450>
- Jiang, S. L., Liu, Q., Cao, L. L., & Sun, L. (2025). An online learning-based mACO approach for hot rolling scheduling problems involving dynamic order arrivals. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*.
- Kagermann, H., & Wahlster, W. (2022). Ten Years of Industrie 4.0. *Sci*, 4(3), 26. <https://doi.org/10.3390/sci4030026>
- Kazemi, M., Mohamadi Zanjirani, D., & Esmailian, M. (2022). The multi-objective locating model for cross-docking centers and vehicle routing scheduling with split demands for perishable products. *Industrial Management Journal*, 13(4), 606-633. <https://doi.org/10.22059/imj.2022.333499.1007883> (in Persian)
- Khatua, S., Maity, S., De, D., Nielsen, I., & Maiti, M. (2024). IoT-ML-enabled multipath traveling purchaser problem using variable length genetic algorithm. *Annals of Operations Research*, 1-44.
- Laporte, G. (2009). Fifty years of vehicle routing. *Transportation science*, 43(4), 408-416. <https://doi.org/10.1287/trsc.1090.0301>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, HG. et al. Industry 4.0. *Bus Inf Syst Eng* 6, 239-242 (2014). <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Li, J., Feng, B., Tian, A., Zheng, H., Moessner, K., Dai, H. N., & Jin, J. (2025). Cars: connection as required scheme for horizontal communications in industry 4.0. *Digital Communications and Networks*. <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2025.03.003>
- Liu, X., Chen, Y.-L., Por, L. Y., & Ku, C. S. (2023). A Systematic Literature Review of Vehicle Routing Problems with Time Windows. *Sustainability*, 15(15), 12004. <https://doi.org/10.3390/su151512004>

- Malandraki, C., & Daskin, M. S. (1992). Time dependent vehicle routing problems: Formulations, properties and heuristic algorithms. *Transportation Science*, 26(3), 185–200. <https://doi.org/10.3390/su151512004>
- Mardešić, N., Erdelić, T., Carić, T., & Đurasević, M. (2023). Review of stochastic dynamic vehicle routing in the evolving urban logistics environment. *Mathematics*, 12(1), 28. <https://doi.org/10.3390/math12010028>
- Marzi, G., M. Balzano, A. Caputo, and M. M. Pellegrini. 2025. “Guidelines for Bibliometric- Systematic Literature Reviews: 10 Steps to Combine Analysis, Synthesis and Theory Development.” *International Journal of Management Reviews* 27, no. 1: 81–103. <https://doi.org/10.1111/ijmr.12381>.
- Meziane, M. E. A. (2025). Smart Manufacturing Systems Under Transportation and Energy Management Constraints. *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, 32(2).
- Mohammadi, M., Rahmanifar, G., Hajiaghahi-Keshteli, M., Fusco, G., & Colombaroni, C. (2023). Industry 4.0 in waste management: An integrated IoT-based approach for facility location and green vehicle
- Monostori, L. (2014). Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. *Procedia cirp*, 17, 9-13. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.115>
- Page, M. J., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *bmj*, 372. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Qiu, F., Chen, M., Wang, L., Ying, Y., & Tang, T. (2023). The architecture evolution of intelligent factory logistics digital twin from planning, implement to operation. *Advances in Mechanical Engineering*, 15(9), 16878132231198339. <https://doi.org/10.1177/16878132231198339>
- Queiroz, M. M., Telles, R., & Bonilla, S. H. (2020). Blockchain and supply chain management integration: a systematic review of the literature. *Supply chain management: An international journal*, 25(2), 241-254. <https://doi.org/10.1108/SCM-03-2018-0143>
- Rahman, M. A., Hossain, A. A., Debnath, B., Zefat, Z. M., Morshed, M. S., & Adnan, Z. H. (2021). Intelligent vehicle scheduling and routing for a chain of retail stores: A case study of Dhaka, Bangladesh. *Logistics*, 5(3), 63.
- Rahmanifar, G., Mohammadi, M., Sherafat, A., Hajiaghahi-Keshteli, M., Fusco, G., & Colombaroni, C. (2023). Heuristic approaches to address vehicle routing problem in the Iot-based waste management system. *Expert Systems with Applications*, 220, 119708.
- Ritzinger, U., Puchinger, J., Rudloff, C., & Hartl, R. F. (2022). Comparison of anticipatory algorithms for a dial-a-ride problem. *European Journal of Operational Research*, 301(2), 591-608.

- Rouhani, S., S. A. Bozorgi, H. Amoozad Mahdiraji, and D. Vrontis. 2024. "Text Analytics and New Service Development: A Hybrid Thematic Analysis With Systematic Literature Review Approach." *EuroMed Journal of Business*.
- routing. *Journal of Industrial Information Integration*, 36, 100535.
- Saricicek, I., Keser, S. B., Cibi, A., Ozdemir, T., & Yazici, A. (2022). Energy efficient routing and task scheduling for autonomous transfer vehicles in intra logistics. *Kuwait Journal of Science*, 49(1).
- Shaheen, N., Shaheen, A., Ramadan, A., Hefnawy, M. T., Ramadan, A., Ibrahim, I. A., & Flouty, O. (2023). Appraising systematic reviews: a comprehensive guide to ensuring validity and reliability. *Frontiers in research metrics and analytics*, 8, 1268045.
- Singh, N., Dang, Q. V., Akcay, A., Adan, I., & Martagan, T. (2022). A matheuristic for AGV scheduling with battery constraints. *European Journal of Operational Research*, 298(3), 855-873.
- Solomon, M. M. (1987). Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations research*, 35(2), 254-265. <https://doi.org/10.1287/opre.35.2.254>
- Tao, F., Qi, Q., Liu, A., & Kusiak, A. (2018). Data-driven smart manufacturing. *Journal of manufacturing systems*, 48, 157-169. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.01.006>
- Toth, P., & Vigo, D. (Eds.). (2002). *The vehicle routing problem*. Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Toth, P., & Vigo, D. (Eds.). (2014). *Vehicle routing: problems, methods, and applications*. Philadelphia: Society for industrial and applied mathematics
- Wamba, S. F., Akter, S., Edwards, A., Chopin, G., & Gnanzou, D. (2015). How 'big data' can make big impact: Findings from a systematic review and a longitudinal case study. *International journal of production economics*, 165, 234-246. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.12.031>
- Wang, I. L., & Lin, Y. T. (2025). Concurrent optimization of routing and platooning decisions for autonomous truck fleets. *Asia Pacific Management Review*, 30(2), 100356.
- Wu, C., Xiao, Y., Zhu, X., & Xiao, G. (2023). Study on multi-objective optimization of logistics distribution paths in smart manufacturing workshops based on time tolerance and low carbon emissions. *Processes*, 11(6), 1730.
- Yu, C. C. (2016). A value-centric business model framework for managing open data applications. *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, 26(1-2), 80-115.
- Yuan, B., Cui, W., & Baldacci, R. (2025). An exact algorithm for a mobile production vehicle routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 201, 104255.
- Zahedi, A., Salehi-Amiri, A., Smith, N. R., & Hajiaghayi-Keshteli, M. (2021). Utilizing IoT to design a relief supply chain network for the SARS-COV-2 pandemic. *Applied Soft Computing*, 104, 107210.
- Zhang, J., & Van Woensel, T. (2023). Dynamic vehicle routing with random requests: A literature review. *International Journal of Production Economics*, 256, 108751 <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108751>

Zhang, M., Pratap, S., Zhao, Z., Prajapati, D., & Huang, G. Q. (2021). Forward and reverse logistics vehicle routing problems with time horizons in B2C e-commerce logistics. *International Journal of Production Research*, 59(20), 6291–6310.