



سیاسگذاری پیشرفت شهری

تابستان ۱۴۰۴. دوره دوم. شماره ۰۲. شماره پیاپی: ۰۳

بحران همه‌گیری بیماری‌ها و آسیب‌های بهداشتی و اجتماعی زباله‌گردی در کلان‌شهرها

علی بهنامی، حسن پاسالاری، میترا غلامی

واکاووی تجارب جهانی هوش مصنوعی در حوزه‌های حمل‌ونقل کلان‌شهری

علیرضا نوری

مردمی‌سازی پروژه‌های سرمایه‌ای شهری: تحولی برای افزایش مشارکت عمومی و تحقق رشد پایدار در کلان‌شهرها

رضا نصر اصفهانی

نقش پسماندهای خطرناک خانگی بر پیامدها و آسیب‌های شغلی کار در مراکز دفن پسماند شهری به روش دلفی: یک مطالعه کیفی

هومن غلامپور ارباستان، هژبر غلامپور ارباستان

تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب روش بهینه مدیریت پسماند شهری با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی

اسما فیاضی، رضا فلاح، سارا محمودیان یونسی، مجید زندی

تحلیلی بر نقش سیاست‌گذاری‌های شهری بر توسعه ساختار کالبدی فضایی شهرهای جدید (مورد مطالعه: شهر صدرا)

علی شمس‌الدینی، سید علیرضا کاظمی، محمدعلی خلیجی

تحول سبز پایتخت؛ چشم‌انداز جامع حمل‌ونقل برقی شهر تهران

مهدی باوقار زعیمی، سامان مشاق‌زاده، قاسم گودرزی، محمدتقی طاحونه، امیر مهدوی

ارائه چارچوب هوشمند IoT-VR به منظور طراحی سامانه‌های هشدار سیلاب شهری

رامتین طاوسی راد، محمد انصاری قوجقار

رتبه‌بندی روش‌های تأمین مالی برقی‌سازی ناوگان اتوبوس شهری در بازار سرمایه ایران

سید مهدی حسینی، سید فرحان موسویان



فصلنامه سیاستگذاری

پیشرفت شهری

تابستان ۱۴۰۴، دوره دوم، شماره ۲، شماره پیاپی ۳



صاحب امتیاز:

مؤسسه آموزش عالی علمی کاربردی شهرداری تهران

مدیر مسئول

دکتر محمدحسین بوچانی

مدرس دانشگاه، دکتری برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید بهشتی

سر دبیر

دکتر حسین یوسفی

استاد دانشکده انرژی و منابع پایدار، دانشگاه تهران

جانشین مدیر مسئول و سر دبیر

مسعود ندافان

مدیر نشریه

زهرا گلستا رسانی

مدیر اجرایی

دکتر حسینعلی مهرنیا

کارشناس نشریه

مرضیه رازقی

گرافیکست

شاهده محمدعلیخانی

ویراستار علمی - ادبی

فاطمه رشوند

ویراستار انگلیسی

دکتر فرهاد محبتی

صفحه‌آرا

زهرا استواری دیلمانی

ترتیب انتشار: فصلنامه

شاپای چاپی: ۳۰۹۲-۶۵۳۳

شاپای الکترونیکی: ۳۰۹۲-۶۵۶۴

سیاست انتشار: دسترسی آزاد

فرآیند داوری: دوسوگور

شناسه مجوز وزارت فرهنگ و ارشاد: ۹۷۴۲۶

تاریخ مجوز: ۲۵ فروردین ۱۴۰۴

نشانی: تهران، خیابان کریم‌خان زند، جنب پارک بهجت آباد، پلاک ۱۹۵، روبروی

سازمان نوسازی شهرداری، مؤسسه آموزش عالی علمی کاربردی شهرداری تهران

کد پستی: ۱۵۹۴۶۴۵۱۱۹

تلفن: ۰۲۱-۸۸۹۲۴۸۷۳، ۰۲۱-۸۸۹۲۴۸۷۶، ۰۲۱-۸۸۹۸۹۴۴

پست الکترونیکی: amozesh.moasese@gmail.com

وبسایت نشریه: https://judpm.ir

اعضای هیئت تحریریه بین‌المللی

پروفیسور بهنام محمدی ایواتلو

استاد دانشکده مهندسی انرژی، دانشگاه ال یو تی فنلاند

پروفیسور کوروش بهزادیان

استاد زیرساخت‌های هوشمند، دانشگاه وست لندن، انگلستان

اعضای هیئت تحریریه

دکتر یونس نوراللهی

استاد گروه سیستم‌های انرژی، دانشگاه تهران

دکتر بیژن عباسی

استاد دانشکده حقوق و علوم سیاسی، دانشگاه تهران

دکتر محمدعلی اکبری

استاد گروه آموزش زبان انگلیسی، دانشگاه ایلام

دکتر سید ابوالفضل ذاکریان

استاد گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی تهران

دکتر یوسف حجت

استاد مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس

دکتر کیانوش ذاکر حقیقی

استاد گروه شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

دکتر لطف‌الله فروزنده

استاد گروه مدیریت، دانشگاه تربیت مدرس تهران

دکتر ارسطو یاری حصار

استاد گروه جغرافیا، دانشگاه محقق اردبیلی

دکتر سهیلا پروین

استاد دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبایی

دکتر معین معینی اقطاعی

دانشیار دانشکده مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی شریف

دکتر رضا نصر اصفهانی

دانشیار اقتصاد شهری گروه کارآفرینی و اقتصاد، دانشگاه هنر اصفهان

دکتر سید داود آقائی

استاد دانشکده حقوق و علوم سیاسی، دانشگاه تهران

سیاستگذاری پیشرفت شهری

دوره دوم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۴

فهرست مقالات

- بحران همه‌گیری بیماری‌ها و آسیب‌های بهداشتی و اجتماعی زباله‌گردی در کلان‌شهرها..... ۱۱۱
علی بهنامی، حسن پاسالاری، میترا غلامی
- واکاوی تجارب جهانی هوش مصنوعی در حوزه‌های حمل‌ونقل کلان‌شهری..... ۱۲۵
علیرضا نوری
- مردمی‌سازی پروژه‌های سرمایه‌ای شهری: تحولی برای افزایش مشارکت عمومی و تحقق رشد پایدار در کلان‌شهرها..... ۱۴۱
رضا نصر اصفهانی
- نقش پسماندهای خطرناک خانگی بر پیامدها و آسیب‌های شغلی کار در مراکز دفن پسماند شهری به روش دلفی: یک مطالعه کیفی..... ۱۵۹
هومن غلامپور ارباستان، هژبر غلامپور ارباستان
- تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب روش بهینه مدیریت پسماند شهری با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی ۱۷۳
اسما فیاضی، رضا فلاح، سارا محمودیان یونسی، مجید زندی
- تحلیلی بر نقش سیاست‌گذاری‌های شهری بر توسعه ساختار کالبدی فضایی شهرهای جدید (مورد مطالعه: شهر صدر)..... ۱۸۹
علی شمس‌الدینی، سید علیرضا کاظمی، محمدعلی خلیجی
- تحول سبز پایتخت؛ چشم‌انداز جامع حمل‌ونقل برقی شهر تهران..... ۲۰۷
مهدی باوقار زعیمی، سامان مشاق‌زاده، قاسم گودرزی، محمدتقی طاحونه، امیر مهدوی
- ارائه چارچوب هوشمند IoT-VR به منظور طراحی سامانه‌های هشدار سیلاب شهری..... ۲۳۱
رامتین طاوسی راد، محمد انصاری قوجقار
- رتبه‌بندی روش‌های تأمین مالی برقی‌سازی ناوگان اتوبوس شهری در بازار سرمایه ایران..... ۲۴۷
سید مهدی حسینی، سید فرحان موسویان

باسمه‌تعالی

سخن مدیرمسئول

سابقه تلاش برای تمرکززدایی در ایران به بیش از یک قرن می‌رسد و انقلاب مشروطه سرآغاز این تحول عظیم بوده است. با وجود سابقه طولانی طرح موضوع تمرکززدایی در امور و تصدی‌های اجرایی، دستاوردهای حاصل شده با اهداف تعیین شده قانونی (به‌خصوص قانون اساسی) فاصله بسیار دارد. تأخیر در تحقق وظایف قانونی و ایجاد نهاد شوراها، یکی از این نمونه‌های شکاف بین آرمان‌های پیشرفت مردم‌پایه با فرایندهای اجرایی آن در سیاستگذاری کشور است. لذا به‌رغم کوشش‌های فراوان از زمان شکل‌گیری انقلاب مشروطه در ایران؛ خواسته به‌حق حضور مردم در اداره امور جامعه، با فراز و نشیب‌هایی همراه بوده است و در دوره‌های مختلف به دلایل گوناگون، از جمله تکیه بر اقتصاد رانتی نفت‌پایه در اداره امور کشور، نقش مردم به عنوان یکی از بنیان‌های پیشرفت همه‌جانبه کم‌رنگ شده است.

مهم‌ترین کارویژه‌های شوراها در قانون اساسی عبارت‌اند از:

۱- نظارت در اجراء؛

۲- مقررات‌گذاری در امور محلی؛

۳- تصمیم‌گیری و هماهنگی در سطوح شهر و روستا و شهرستان و استان؛

۴- جلوگیری از نابرابری و تبعیض در پروژه‌های عمرانی و سرمایه‌ای؛

۵- جلب مشارکت مردم برای پیشبرد برنامه‌های پیشرفت کشور.

در شرایط کنونی، برنامه‌ریزی توسط مردم به عنوان کانون سیاستگذاری و توجه به مقتضیات محلی، اصلی اساسی در توسعه کشورها است. لازم است به منظور استفاده از ظرفیت‌های مشارکت مردم در اداره امور کشور، تقسیم امور ملی و محلی صورت گیرد. با توجه به قانون اساسی، تجربیات جهانی و با توجه به مقتضیات محلی در ایران، **راه توسعه ملی و منطقه‌ای از توسعه محلی و مدیریت‌های محلی قوی و توانمند می‌گذرد**، تقویت مدیریت‌های محلی در کشور به بسیج ظرفیت‌های پهنه سرزمینی منجر می‌شود و از طریق جلب مشارکت مردم در اداره امور کشور به تدریج سرمایه‌های اجتماعی و اعتماد به حاکمیت گسترش می‌یابد.

در همین زمینه، ماده ۱۰۵ قانون برنامه هفتم بیان می‌دارد: «به منظور ارتقای بهره‌وری نظام اداری، کاهش هزینه‌های جاری و چابک‌سازی، هوشمندسازی، منطقی‌سازی و متناسب‌سازی اندازه دولت، مبتنی بر نقش دولت در سیاستگذاری و تنظیم‌گری و کاهش تصدی‌گری اقدامات زیر انجام شود:

۱- نسبت به انتقال امور حاکمیتی از شرکت‌های دولتی به دستگاه ذی‌ربط با رعایت قانون اجرای سیاست‌های کلی اصل چهارم (۴۴) قانون اساسی اقدام نمایند.

۲- نسبت به انتقال امور تصدی‌گری غیرحاکمیتی که امکان خرید خدمات آن وجود دارد به بخش خصوصی اقدام نمایند.

۳- نسبت به انتقال آن دسته از تصدی‌های قابل واگذاری به استان‌ها و شهرستان‌ها با رویکرد امکان اتخاذ تصمیمات بهینه محلی اقدام نمایند.

۴- نسبت به شناسایی و انتقال آن دسته از تصدی‌های قابل واگذاری از لحاظ قانونی و اجرایی به شهرداری‌ها با رویکرد مدیریت یکپارچه شهری و تقویت نقش خطمشی‌گذاری، هماهنگی، تسهیل‌گری و نظارتی دولت با پیشنهاد شورای عالی استان‌ها اقدام نمایند.»

امیدواریم فصلنامه سیاستگذاری پیشرفت شهری با ارائه نظریات و کارهای علمی نوآورانه و مبتنی بر ساختار حقوقی کشور و با درک تجربیات جهانی، ایده‌های مناسبی به منظور به‌گشت حکمروایی شایسته شهری طرح کند و انتشار دهد.



The Health and Social Effects Attributed to Waste Pickers in Large Cities

Ali Behnami¹ | Hasan Pasalari² | Mitra Gholami^{3*}

1. Ph.D Student, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. Email: ali.behnami64@gmail.com
2. Assistant Professor, Research Center for Environmental Health Technology, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. Email: Hasanpasalari1370@gmail.com
3. Corresponding Author, Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. Email: gholamimitra32@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 19 February 2025
Revised 19 March 2025
Accepted 20 April 2025
Published Online 10 May 2025

Keywords:
Waste Management,
Recycling,
Garbage Collectors,
Health Costs,
Tehran.

ABSTRACT

The world faces an unprecedented increase in solid waste generation due to population growth, urbanization, and changing consumption patterns. This growing waste crisis poses serious threats to both the environment and public health; it requires urgent attention. Effective waste management, with a strong emphasis on recycling, is crucial in mitigating these negative impacts. Recycling minimizes pressure on natural resources, energy consumption, and greenhouse gas emissions. In addition, it reduces the use of landfill and incineration options that lead to soil and air pollution. However, developing countries face significant challenges in recycling due to inadequate infrastructure, lack of integrated waste management systems, and limited public awareness. In these countries, informal waste pickers play a key role in recycling by collecting valuable materials such as plastics, metals, and paper. However, their unrecognized and unorganized work exposes them to severe health risks, including infections, musculoskeletal disorders, and exposure to hazardous substances. They also face economic vulnerabilities and social exclusion. Despite these hardships, economic necessity and limited job opportunities drive people to pick up waste. To improve this situation, waste pickers need to be integrated into municipal waste management programs through legal identification, health education, and access to health care services. Organizing them as municipal workers can be mutually beneficial, increasing urban cleanliness and economic efficiency while fostering a healthier and more sustainable society.

Cite this article: Behnami, A.; Pasalari, H. & Gholami, M. (2025). The Health and Social Effects Attributed to Waste Pickers in Large Cities. *Urban Development Policy Making*, 2 (2), 111-124. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.510741.1014>



© Ali Behnami, Hasan Pasalari, Mitra Gholami
DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.510741.1014>

Introduction

With the development of urbanization and the increase in population, waste production has also increased increasingly. As a socio-ecological issue, optimal management of these waste has become necessary and inevitable in order to reduce the negative impacts on the environment and public health. Given the high volume of valuable dry waste produced daily in Tehran, this could be the basis for attracting informal activists in waste recycling. The waste pickers plays an important role, as it separates and recycles valuable materials from waste streams, reducing the large volume of municipal solid waste that ends in landfills and open landfill areas. Garbage collection also has a social advantage because it brings a source of income to some of the most vulnerable segments of society. In this study, various aspects (economic, social and health) of the phenomenon of waste pickers in

Tehran are investigated. In this study, the concept of waste pickers and the causes of its tendency will be addressed. In addition, the health consequences of waste pickers and the solutions to improve the health and safety status of waste disposal were covered.

Methodology

The relevant data were collected through published data from the Waste Management Organization of Tehran, research conducted in the field of recycling and waste disposal, and international reports related to the informal economy of recycling, and the related studies conducted in other developing countries that have similar challenges in the field of urban waste management and the role of waste pickers.

Results

The results indicated that the main reasons for tendency to waste pickers are economic necessity, Lack of formal employment, No restrictions on entry, Market demand for recycled goods and Lack of awareness and education. The main health complications associated with waste pickers are: Exposure to hazardous substances, Respiratory diseases, Skin infections, Eye infections and Digestive disorders.

Conclusion

Organizing the waste pickers in a form scenario as municipal workers can be mutually beneficial, increasing urban cleanliness and economic efficiency while fostering a healthier and more sustainable society.



بحران همه‌گیری بیماری‌ها و آسیب‌های بهداشتی و اجتماعی زباله‌گردی در کلان‌شهرها

علی بهنامی^۱ | حسن پاسالاری^۲ | میترا غلامی^{۳*}

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران. رایانامه: ali.behnami64@gmail.com
۲. استادیار، مرکز تحقیقات تکنولوژی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ایران. رایانامه: Hasanpasalari1370@gmail.com
۳. نویسنده مسئول، استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران. رایانامه: gholamimitra32@gmail.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۳۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰

کلیدواژه:

مدیریت پسماند،

بازیافت،

زباله‌گردان،

عوارض بهداشتی،

کلان‌شهر تهران.

جهان با افزایش بی‌سابقه تولید زباله جامد به دلیل رشد جمعیت، شهرنشینی و تغییر الگوهای مصرف مواجه است. این بحران فراینده زباله تهدیدهای جدی هم برای محیط زیست و هم برای سلامت عمومی ایجاد می‌کند و توجه فوری را می‌طلبد. مدیریت مؤثر زباله، با تأکید قوی بر بازیافت، در کاهش این اثرات منفی بسیار مهم است. بازیافت، فشار بر منابع طبیعی، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را به حداقل می‌رساند. علاوه بر این، استفاده از گزینه دفن و سوزاندن زباله که به آلودگی خاک و هوا منجر می‌شود را کاهش می‌دهد. با این حال، کشورهای درحال توسعه به دلیل زیرساخت‌های ناکافی، فقدان سیستم‌های مدیریت یکپارچه پسماند و آگاهی محدود عمومی با چالش‌های قابل توجهی در بازیافت مواجه هستند. در این کشورها، جمع‌کننده‌های غیررسمی زباله با جمع‌آوری مواد باارزش مانند پلاستیک، فلزات و کاغذ، نقش کلیدی در بازیافت دارند. با این حال، کار ناشناخته و سازماندهی نشده، آن‌ها را در معرض خطرات شدید سلامتی، از جمله عفونت، اختلالات اسکلتی عضلانی، و مواجهه با مواد خطرناک قرار می‌دهد. آن‌ها همچنین با آسیب‌پذیری‌های اقتصادی و طرد اجتماعی مواجه هستند. با وجود این سختی‌ها، ضرورت اقتصادی و فرصت‌های شغلی محدود، افراد را به سمت جمع‌آوری زباله سوق می‌دهد. برای بهبود این وضعیت، جمع‌کننده‌های زباله باید از طریق شناسایی قانونی، آموزش بهداشت و دسترسی به خدمات مراقبت‌های بهداشتی، در برنامه‌های مدیریت زباله شهری ادغام شوند. سازماندهی آن‌ها به عنوان کارگران شهرداری می‌تواند برای دو طرف سودمند باشد، نظافت شهری و کارایی اقتصادی را افزایش دهد و در عین حال جامعه سالم‌تر و پایدارتر را تقویت کند.

استناد: بهنامی، علی؛ پاسالاری، حسن و غلامی، میترا (۱۴۰۴). بحران همه‌گیری بیماری‌ها و آسیب‌های بهداشتی و اجتماعی زباله‌گردی در کلان‌شهرها. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۲ (۲) ۱۱۱-۱۲۴.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.510741.1014>

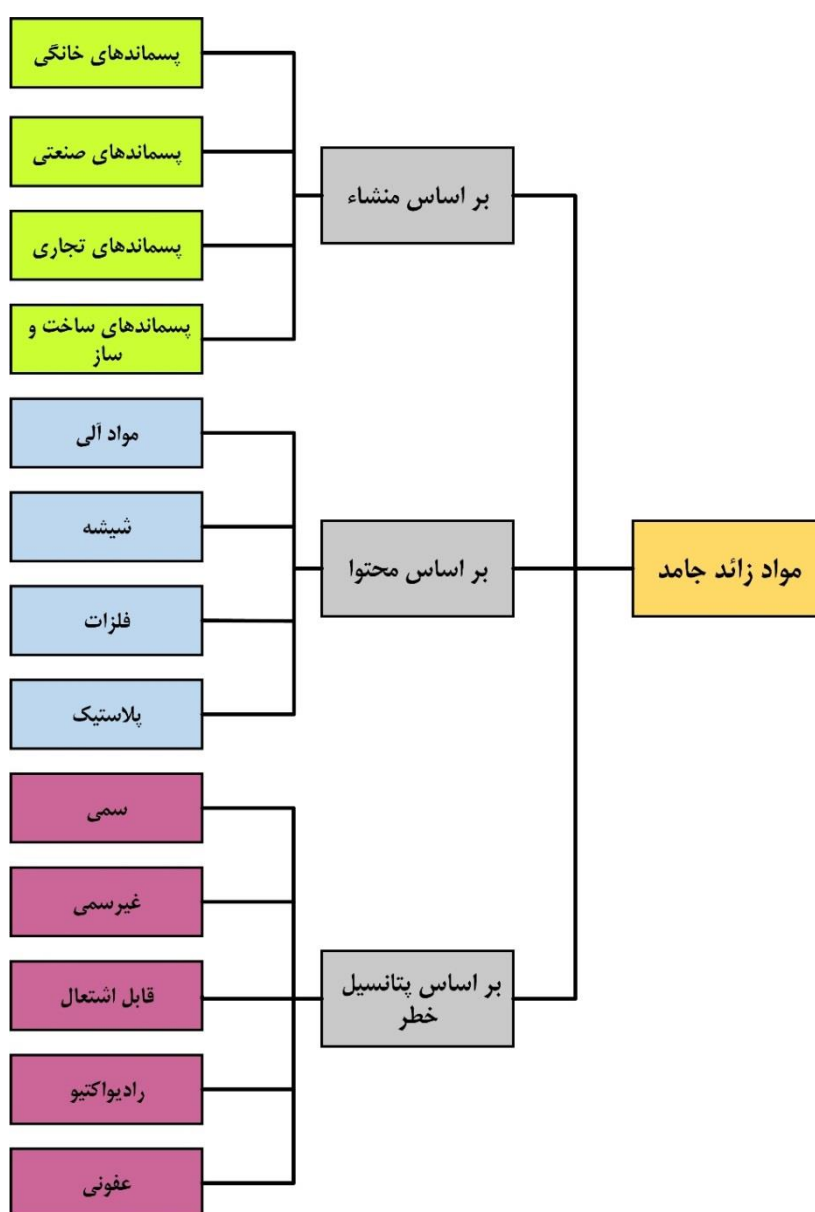
© علی بهنامی، حسن پاسالاری، میترا غلامی

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.510741.1014>



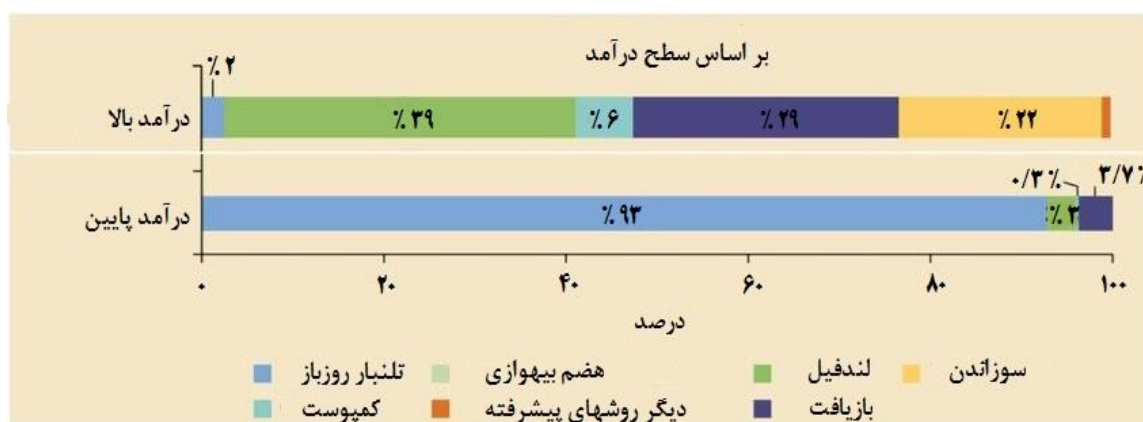
۱. مقدمه

با توسعه شهرنشینی و افزایش جمعیت، تولید پسماندها نیز به صورت فزاینده‌ای افزایش یافته است [۱]. از طریق فرایندهای مختلف مانند مصرف خانگی، صنعتی، تجاری و ساخت‌وساز، پسماند تولید می‌شود. مواد تولیدی ممکن است شامل بسته‌بندی‌های کالاها، دورریز مواد غذایی، نخاله‌های ساختمانی، لوازم الکترونیکی و دیگر محصولات باشند. تغییر سبک زندگی در شهرهای بزرگ، تقاضا برای محصولاتی که مقدار زیادی پسماند تولید می‌کنند را افزایش داده است. به عنوان یک مسئله جامعه‌شناسانه، مدیریت بهینه این پسماندها به امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر تبدیل شده است تا اثرات منفی بر محیط زیست و بهداشت عمومی کاهش یابد. پسماندها را می‌توان با توجه به مبدأ تولید آن‌ها، محتوا و ماهیت بالقوه خطرناک آن‌ها به دسته‌های مختلفی طبقه‌بندی کرد (شکل ۱). بر اساس مبدأ تولید، پسماندها را می‌توان به پسماندهای خانگی، تجاری، شهری، سازمانی، صنعتی، کشاورزی و غیره تقسیم کرد. بر اساس محتویات مواد زائد جامد، پسماندها به پسماندهای زیست‌تخریب‌پذیر طبیعی، مواد غیرقابل تجزیه زیستی، مواد زیست‌تخریب‌پذیر جزئی، مواد آلی سمی، مواد مقاوم، فلزات، متالوئیدها و غیره طبقه‌بندی می‌شوند [۲].



شکل ۱. طبقه‌بندی مواد زائد جامد [۳]

مدیریت پسماند شامل به‌کارگیری روش‌های مختلف برای مدیریت انواع مختلف زباله به شیوه‌ای مسئولانه از نظر زیست‌محیطی است. در زیر چند روش مختلف مدیریت پسماند که معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرند ذکر شده است [۳]:



شکل ۲. روش‌های مختلف مدیریت MSW در کشورهای با درآمد بالا و پایین [۱]

در شهر تهران، آنالیز فیزیکی پسماند تولیدی شهروندان تهرانی در سال ۱۳۹۸ نشان داد بیش از ۲۸/۴ درصد از پسماند از نوع پسماند خشک و بارزش از دیدگاه اقتصادی هستند (جدول ۱).

جدول ۱. درصد اجزای اصلی پسماند تولیدی شهر تهران در نقاط نمونه‌برداری مختلف [۴]

محل نمونه‌برداری	درصد پسماند غذایی	درصد پسماند خشک ارزشمند	درصد پسماند خشک غیرارزشمند
پسماند تولیدی اماکن مسکونی مناطق ۲۲گانه تهران	۶۳/۸	۲۸/۴	۷/۸
پسماند تلفیقی اماکن مسکونی و غیرمسکونی مناطق ۲۲گانه تهران	۵۷/۷	۳۴/۲	۸
پسماند جمع‌آوری شده با خودروهای مکانیزه	۷۵/۳	۱۵/۴	۹/۳
پسماندهای ورودی به مرکز دفن آرادکوه	۶۹/۵	۱۸/۰۱	۱۲/۵۱
میانگین	۶۶/۶	۲۴	۹/۴

بر اساس نتایج این بررسی انجام‌شده، مجموع تناژ پسماند تولیدی در شهر تهران با استفاده از سرانه به‌دست‌آمده، حدود ۶۲۸۰ تن در روز محاسبه شد. با توجه به میانگین تناژ ایستگاه‌های انتقال در شهریور و مهر ۱۳۹۸ که برابر ۵۶۵۰ تن در روز بوده است، می‌توان گفت که مابه‌التفاوت این مقدار توسط بخش غیررسمی از مخازن تفکیک شده است. همچنین، با توجه به مجموع تناژ پسماند تولیدی در شهر تهران (۶۲۸۰ تن در روز) و با در نظر گرفتن میانگین درصد پسماند خشک ارزشمند (۲۴ درصد)، می‌توان نتیجه گرفت که در شهر تهران، روزانه حدود ۱۵۰۷ تن پسماند خشک بارزش و با قابلیت بازیافت و استفاده مجدد تولید می‌شود. لذا با توجه به حجم بالای پسماند خشک بارزش که به صورت روزانه در شهر تهران تولید می‌شود، این موضوع می‌تواند زمینه‌ساز جذب فعالان غیررسمی در امر بازیافت پسماند شود.

همچنین، بررسی نتایج حاصل از آنالیز فیزیکی پسماند نشان می‌دهد درصد اجزای خشک بارزش در مبدأ تولید بسیار بالاتر از میزان آن در پسماند ورودی به مرکز دفن است. بنابراین، بخش قابل توجهی از اجزای خشک بارزش پسماند توسط عوامل غیر رسمی (دوره‌گردان پسماند)، قبل از ورود پسماند به سایت تفکیک و دفع نهایی، جداسازی می‌شود. بنابراین، این آمار نشان می‌دهد فرایند تفکیک در مبدأ تولید می‌تواند مزایای قابل توجهی داشته باشد.

با توجه به محاسبات انجام‌گرفته تخمین زده می‌شود که ارزش ریالی این اقلام بارزش بازیافت در پسماند تولیدی روزانه شهر تهران نزدیک به ۴/۵ میلیارد تومان باشد که مبلغ قابل توجهی است و باعث جذب گروه‌های رسمی و غیر رسمی فعال در امر بازیافت می‌شود.

جدول ۲. برآورد ارزش ریالی برخی اجزای باارزش بازیافتی موجود در پسماند شهری روزانه تهران [۴]

نوع کالای بازیافتی	میانگین درصد وزنی روزانه	میانگین وزنی روزانه (کیلوگرم در روز)	متوسط قیمت (ریال) به ازای هر کیلوگرم	برآورد ارزش ریالی روزانه
PET	۲/۵	۱۵۷۰۰۰	۱۴۰/۰۰۰	۲۱/۹۸۰/۰۰۰/۰۰۰
پلاستیک قابل بازیافت	۳/۹	۲۴۵۰۰۰	۳۰/۰۰۰	۷/۳۵۰/۰۰۰/۰۰۰
شیشه	۲/۴	۱۵۱۰۰۰	۸۰۰۰	۱/۲۰۸/۰۰۰/۰۰۰
نایلون و مشمع	۱۰/۱	۶۳۴۰۰۰	۹۰۰۰	۵/۷۰۶/۰۰۰/۰۰۰
فلزات	۰/۸	۵۰۲۴۰	۶۲۰۰۰	۳/۱۱۴/۸۸۰/۰۰۰
کاغذ و کارتن	۸/۴	۵۲۷۵۲۰	۱۲۰۰۰	۶/۳۳۰/۲۴۰/۰۰۰
جمع ارزش ریالی				۴۵/۶۸۹/۱۲۰/۰۰۰

جمع‌کننده‌های زباله یا دوره‌گردان زباله اشخاصی هستند که موادی را که توسط دیگران دور ریخته می‌شود، از جمله فلز، غذا، لباس، کاغذ و پلاستیک جمع‌آوری می‌کنند. آن‌ها این مواد را از منابع مختلف مانند خیابان‌ها، محل‌های دفن زباله و مناطق تلنبار روباز زباله جمع‌آوری می‌کنند. دوره‌گردان زباله نقش مهمی را ایفا می‌کنند، زیرا مواد باارزش را از جریان‌های زباله، تفکیک و بازیافت می‌کنند و حجم زیادی از پسماندهای جامد شهری را که به محل‌های دفن زباله و مناطق تلنبار روباز زباله ختم می‌شود، کاهش می‌دهند. جمع‌آوری زباله یک مزیت اجتماعی نیز دارد، زیرا منبع درآمدی برای برخی از آسیب‌پذیرترین قشر جامعه به ارمغان می‌آورد [۵]. در این مطالعه، به جنبه‌های مختلف (اقتصادی، اجتماعی و بهداشتی) پدیده زباله‌گردی در سطح شهر تهران پرداخته شده است. در این مطالعه، به مفهوم زباله‌گردی و علل گرایش به آن، پیامدهای بهداشتی ناشی از زباله‌گردی، راهکارهای بهبود وضعیت کاری زباله‌گردان و - راهکارهای بهبود وضعیت بهداشت و ایمنی زباله‌گردان پرداخته خواهد شد.

۲. روش‌شناسی

۲-۱. نوع تحقیق

این پژوهش از نوع توصیفی - تحلیلی و مبتنی بر روش‌های ترکیبی (کمی و کیفی) است. در بخش توصیفی، به بررسی وضعیت زباله‌گردی، چالش‌های بهداشتی، اجتماعی و اقتصادی مرتبط با آن در کلان‌شهر تهران پرداخته شده است. در بخش تحلیلی، نقش زباله‌گردان در چرخه مدیریت پسماند و تأثیر آن‌ها بر بازیافت پسماندهای شهری تحلیل شده است. علاوه بر این، راهکارهای پیشنهادی برای بهبود وضعیت زباله‌گردان مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۲-۲. جمع‌آوری داده‌ها

جمع‌آوری اطلاعات از طریق داده‌های منتشرشده از سازمان مدیریت پسماند تهران، پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه بازیافت و زباله‌گردی، و گزارش‌های بین‌المللی مرتبط با اقتصاد غیررسمی بازیافت، داده‌های جمع‌آوری شده در مطالعات پیشین درباره میزان تولید زباله، ترکیب فیزیکی پسماندها و میزان مشارکت زباله‌گردان در فرایند بازیافت و مطالعات انجام‌شده در سایر کشورهای درحال توسعه که با چالش‌های مشابهی در زمینه مدیریت زباله‌های شهری و نقش زباله‌گردان مواجه بوده‌اند، صورت گرفت.

۲-۳. روش تحلیل اطلاعات

برای بررسی میزان تولید زباله و درصد بازیافت، از آمارهای به‌دست‌آمده در سال‌های مختلف استفاده شد. این داده‌ها به کمک نرم‌افزارهای آماری تحلیل شدند تا روابط و الگوهای موجود بین حجم زباله تولیدی و میزان بازیافت بررسی شود.

۳. نتایج و بحث

۳-۱. دلایل گرایش به زباله‌گردی

(الف) **ضرورت اقتصادی:** یکی از دلایل اصلی رواج جمع‌آوری غیررسمی زباله، ضرورت اقتصادی است [۶]. بسیاری از افرادی

که به جمع‌آوری زباله مشغول هستند این کار را از روی ناامیدی محض برای کسب درآمد انجام می‌دهند. فقر عامل مهمی در گرایش به جمع‌آوری غیررسمی زباله است. علاوه بر این، بخش جمع‌آوری زباله غیررسمی اغلب دستمزدهای بیشتری را در مقایسه با سایر گزینه‌های موجود در اقتصاد غیررسمی ارائه می‌دهد. این امر به‌ویژه در مناطقی که تقاضا برای مواد قابل بازیافت زیاد است و ارزش بازار آن‌ها قابل توجه است صادق است. جمع‌آوران زباله می‌توانند با فروش این مواد به شرکت‌های بازیافت یا واسطه‌هایی که آن‌ها را پردازش کرده و می‌فروشند، درآمد کسب کنند. پتانسیل برای درآمدهای بالاتر، افراد را به این بخش جذب می‌کند، به‌ویژه زمانی که فرصت‌های شغلی رسمی کمیاب هستند یا دستمزد کمتری ارائه می‌دهند.



شکل ۳. تصاویر مربوط به زباله‌گردان غیر رسمی در شهر تهران

ب) نبود شغل رسمی: فرصت‌های شغلی رسمی اغلب در کشورهای کمتر توسعه‌یافته یا در حال توسعه با جمعیت بالا و وجود مشکلات اقتصادی، کمیاب است. عواملی مانند نرخ بالای بیکاری، چشم‌اندازهای شغلی محدود و فقدان تنوع صنعتی به نبود اشتغال رسمی کمک می‌کنند. در چنین موقعیت‌هایی، جمع‌آوری زباله به عنوان منبع درآمدی در دسترس برای افراد و جوامع به‌حاشیه‌رانده شده ظاهر می‌شود. علاوه بر این، دسترسی محدود به اشتغال رسمی را می‌توان به عوامل ساختاری در بازار کار نسبت داد.

ج) نبود محدودیت برای ورود به این کار: جمع‌آوری زباله به حداقل سرمایه نیاز دارد و نیازی به مهارت یا صلاحیت تخصصی ندارد. این موانع کم برای ورود، آن را به گزینه‌ای جذاب برای کسانی که دسترسی محدودی به آموزش و منابع مالی دارند، تبدیل می‌کند. افراد می‌توانند جمع‌آوری زباله را با یک کیسه ساده یا با یک گاری دستی شروع کنند و به آن‌ها این امکان را می‌دهد که به سرعت وارد بخش غیررسمی شوند [۷].

د) انعطاف‌پذیری زباله‌گردی: انعطاف‌پذیری در زمینه جمع‌آوری زباله به توانایی جمع‌کنندگان زباله در تعیین ساعت‌های کاری، محل کار و انواع زباله‌هایی که جمع‌آوری می‌کنند، اشاره دارد. به خلاف استخدام رسمی، جمع‌آوران زباله این آزادی را دارند که زمان و مکان کار خود را انتخاب کنند و به آن‌ها اجازه می‌دهد فعالیت‌های خود را با شرایط و نیازهای شخصی خود تطبیق دهند. این انعطاف‌پذیری به‌ویژه برای افرادی که ممکن است از نظر زمان فعالیت با محدودیت‌هایی مواجه باشند، جذاب است [۸].

ر) تقاضا بازار برای کالاهای بازیافتی: نقش تقاضای بازار برای مواد بازیافتی در گرایش به جمع‌آوری غیررسمی زباله موضوعی پیچیده و چندوجهی است. برای درک این رابطه، بررسی پویایی بین تقاضای بازار، شیوه‌های بازیافت و بخش غیررسمی زباله مهم است. سودآوری جمع‌آوری غیررسمی زباله تا حد زیادی به قیمت‌های بازار مواد بازیافتی بستگی دارد. قیمت‌های بالاتر بازار، افراد بیشتری را به جمع‌آوری زباله جذب می‌کند، زیرا فرصتی را برای کسب درآمد از طریق جمع‌آوری و فروش مواد بازیافتی به آن‌ها ارائه می‌کند.

ه) حاشیه‌نشینی اجتماعی: حاشیه‌نشینی اجتماعی می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر تمایل به جمع‌آوری غیررسمی زباله داشته باشد. زمانی که افراد یا جوامع به حاشیه رانده می‌شوند، اغلب با فرصت‌های اقتصادی محدودی مواجه می‌شوند و از بخش‌های استخدام رسمی کنار گذاشته می‌شوند. در نتیجه، آن‌ها ممکن است به فعالیت‌های غیررسمی مانند جمع‌آوری زباله به عنوان وسیله‌ای برای بقا روی آورند. این امر به‌ویژه در مناطق کم‌درآمد که فرصت‌های شغلی رسمی کمیاب است، رایج است [۹].

ی) عدم آگاهی و آموزش: فقدان آگاهی و آموزش نقش مهمی در گرایش به جمع‌آوری غیررسمی زباله دارد. یکی از دلایل اصلی گرایش به جمع‌آوری غیررسمی زباله، عدم آگاهی از پیامدهای منفی این عمل است. بسیاری از افرادی که در جمع‌آوری غیررسمی زباله‌ها فعالیت می‌کنند، به طور کامل از خطرات بهداشتی مرتبط با مواد زائد مانند قرار گرفتن در معرض سموم، مواد شیمیایی و بیماری‌های عفونی آگاه نیستند. بدون دانش مناسب، آن‌ها بیشتر در معرض خطراتی هستند که می‌تواند اثرات بلندمدتی بر سلامتی آن‌ها داشته باشد [۱۰].

۲-۳. خطرات بهداشتی متناسب به زباله‌گردی

الف) قرار گرفتن در معرض مواد خطرناک: قرار گرفتن در معرض مواد خطرناک یک نگرانی مهم هنگام جمع‌آوری غیررسمی زباله است. جمع‌آوران غیررسمی زباله اغلب در جمع‌آوری، دسته‌بندی و بازیافت انواع زباله‌ها بدون تجهیزات حفاظتی یا اقدامات ایمنی مناسب شرکت می‌کنند. این عدم محافظت آن‌ها را در معرض خطر قرار گرفتن در معرض مواد خطرناک قرار می‌دهد و می‌تواند اثرات مضر بر سلامت و رفاه آن‌ها داشته باشد. یکی از انواع متداول قرار گرفتن در معرض تماس مستقیم با مواد خطرناک مانند مواد شیمیایی، فلزات سنگین یا زباله‌های بیولوژیکی است. این مواد در صورت بلع یا استنشاق می‌توانند باعث تحریک پوست، مشکلات تنفسی و یا حتی مشکلات جدی‌تری برای سلامتی شوند. جمع‌کننده‌های غیررسمی زباله ممکن است هنگام کار با اقلامی مانند زباله‌های الکترونیکی، باتری‌ها، زباله‌های پزشکی دورریخته‌شده یا مواد آلوده با این مواد تماس پیدا کنند [۱۱].

ب) مشکلات تنفسی: استنشاق دود سمی: زباله‌گردان اغلب با پسماندهای در حال سوختن، پسماندهای صنعتی یا مواد شیمیایی خطرناک در تماس هستند که دودهای سمی، آلاینده‌های مضر و آلرژن‌ها را آزاد می‌کنند. استنشاق این بخارات می‌تواند باعث تحریک تنفسی، سرفه و مشکل در تنفس شود و جمع‌کننده‌های زباله را در معرض خطر ابتلا به بیماری‌هایی مانند آسم، برونشیت و بیماری انسدادی مزمن ریه (COPD^۱) قرار دهد. قرار گرفتن در معرض خطرات بیولوژیکی: زباله‌ها حاوی مواد زائد آلی از جمله مواد غذایی فاسد و فضولات حیوانی هستند که می‌توانند محل تجمع باکتری‌ها، ویروس‌ها و قارچ‌ها باشند [۱۲].

ج) عفونت‌های پوستی: عفونت‌های باکتریایی: زخم‌های باز، بریدگی‌ها و ساییدگی‌ها به دلیل ماهیت کار، در میان زباله‌گردان رایج است. این زخم‌ها می‌توانند به محل ورود باکتری‌های مضر موجود در مواد زائد تبدیل شوند. در نتیجه، زباله‌گردان در معرض خطر ابتلا به عفونت‌های باکتریایی پوستی از جمله سلولیت، زخم زرد و کورک هستند. عفونت‌های قارچی: به دلیل ماهیت مرطوب پسماندها و همچنین مکان‌های دپوی زباله، رشد قارچ‌ها می‌تواند تسریع یابد. زباله‌گردان، به‌ویژه کسانی که در داخل یا اطراف زباله‌های آلی کار می‌کنند، ممکن است مستعد ابتلا به عفونت‌های قارچی باشند. شرایطی مانند کچلی پا (پای ورزشکار) و بثورات قارچی پوستی می‌توانند در تماس قارچ‌ها با پوست مرطوب ایجاد شوند.

د) عفونت‌های چشمی: قرار گرفتن در معرض مواد شیمیایی: مواد زائد می‌توانند حاوی مواد شیمیایی و مواد خطرناکی باشند که برای چشم‌ها خطرآفرین هستند [۱۳]. پاشش تصادفی یا تماس با این مواد شیمیایی می‌تواند به سوختگی شیمیایی یا آسیب قرنیه منجر شود که ممکن است در نهایت باعث درد شدید چشم و حتی اختلال بینایی شود.

ر) اختلالات گوارشی: اختلالات گوارشی مرتبط با جمع‌آوری و بازیافت غیررسمی زباله می‌تواند پیامدهای سلامتی قابل توجهی برای افراد درگیر در این فعالیت‌ها داشته باشد. یکی از دلایل اصلی اختلالات گوارشی در میان جمع‌کنندگان و بازیافت‌کنندگان غیررسمی زباله، قرار گرفتن در معرض مواد زائد آلوده است. این کارگران اغلب با مواد غذایی دورریخته‌شده،

1. Chronic obstructive pulmonary disease

محصولات فاسد یا تاریخ مصرف گذشته و سایر ضایعات آلی که ممکن است حاوی باکتری‌های مضر، ویروس‌ها، انگل‌ها یا مواد سمی باشند، در تماس هستند. تماس با چنین مواد زائد بدون اقدامات حفاظتی مناسب می‌تواند به بلع پاتوژن‌ها یا سموم، ایجاد عفونت‌های گوارشی، مسمومیت غذایی یا سایر اختلالات گوارشی منجر شود. علاوه بر این، زباله‌گردان اغلب در محیط‌های غیربهداشتی و ناسالم کار می‌کنند و خطر ابتلا به مشکلات گوارشی را افزایش می‌دهند.

۳-۳. پیامدهای اجتماعی زباله‌گردی

یکی دیگر از مسائل بهداشت روانی که از جمع‌آوری غیررسمی زباله‌ها ناشی می‌شود، انزوای اجتماعی است. زباله‌گردان اغلب به‌تنهایی یا در گروه‌های کوچک و جدا از جریان اصلی جامعه کار می‌کنند. آن‌ها اغلب به دلیل انگ مرتبط با شغلشان طرد می‌شوند، که به احساس تنهایی و طرد اجتماعی منجر می‌شود. این انزوا می‌تواند اثرات مخربی بر سلامت روان آن‌ها داشته باشد و به افزایش میزان افسردگی و اضطراب منجر شود.

علاوه بر این، عدم دسترسی به مراقبت‌های بهداشتی و حمایت روانی مناسب، چالش‌های بهداشت روانی را که زباله‌گردان با آن مواجه هستند، تشدید می‌کند. بسیاری از زباله‌گردان به خدمات بهداشتی به‌صرفه یا کافی از جمله مراقبت‌های بهداشت روان دسترسی ندارند. این عدم حمایت بیشتر باعث تداوم مشکلات سلامت روان آن‌ها می‌شود، زیرا آن‌ها قادر به کمک گرفتن یا دریافت درمان مناسب برای شرایط خود نیستند.

همچنین، کودکان زباله‌گرد نیز ممکن است دوران کودکی نامناسبی را تجربه کنند، از جمله حضور نامنظم در مدرسه و قرار گرفتن در معرض شرایط زندگی چالش‌برانگیز. این عوامل می‌تواند بر سلامت روان و رشد آن‌ها تأثیر منفی بگذارد. در برخی موارد هم جمع‌آوری زباله یک شغل خانوادگی است و کودکان نیز ممکن است در این کار مشارکت داشته باشند. این می‌تواند به استرس مزاد برای والدین منجر شود، زیرا ممکن است در مورد ایمنی و رفاه فرزندان خود هنگام کار در محیط‌های خطرناک نگران باشند.

۳-۴. راهکارهای مدیریتی در مورد چالش زباله‌گردی

زباله‌گردان افراد یا گروه‌هایی از مردم هستند که مواد قابل بازیافت را از جریان‌های زباله اغلب در شرایط کاری غیررسمی و نامطمئن، جمع‌آوری، دسته‌بندی و به فروش می‌رسانند. آن‌ها به طور قابل توجهی به کاهش زباله‌ارسالی برای دفع نهایی، بازیابی منابع، ترویج اقتصاد چرخشی و پایداری محیطی کمک می‌کنند. با این حال، آن‌ها با چالش‌های مختلف اجتماعی، اقتصادی و بهداشتی روبرو هستند. راه‌حل‌های مدیریتی مؤثر می‌تواند کار آن‌ها را بهبود بخشد، از حقوق آن‌ها محافظت کند و یک موقعیت برد-برد برای زباله‌گردها، جوامع و شهرداری‌ها ایجاد کند. شهرداری به عنوان سازمان متولی مدیریت پسماند، باید از طریق حمایت‌های دولت، تفکیک از مبدأ پسماند را اجرایی کند. دستیابی به این مهم تنها از طریق اختصاص بودجه، فرهنگ‌سازی و آموزش امکان‌پذیر است. همچنین، در موارد خاص، می‌توان از ابزارهای قانونی نیز بهره برد. با اجرایی شدن تفکیک از مبدأ پسماند، می‌توان مافیای پسماند را از چرخه مدیریت پسماند حذف کرد و با مدیریت و سازماندهی زباله‌گردها و استفاده از آن‌ها به عنوان نیروهای غیررسمی شهرداری‌ها، هم مشکلات زباله‌گردان را حل کرد و هم باعث تولید درآمد از طریق مدیریت و فروش کالاهای بازیافتی شد.

الف) به رسمیت شناختن قانونی زباله‌گردی: جمع‌کنندگان غیررسمی زباله اغلب فاقد هویت قانونی به عنوان کارگر هستند، که آن‌ها را در برابر استثمار و شرایط کاری نایمن آسیب‌پذیر می‌کند. شهرداری باید سهم جمع‌کنندگان و بازیافت‌کنندگان زباله را به رسمیت بشناسد و از کار آن‌ها حمایت قانونی کند [۱۴]. رسمی‌سازی مستلزم به رسمیت شناختن زباله‌گردان به عنوان یک شغل قانونی و ارائه کارت شناسایی رسمی و حمایت‌های قانونی به زباله‌گردان است.

این رویکرد می‌تواند به آن‌ها حقوق اساسی، از جمله دسترسی به امنیت اجتماعی، مراقبت‌های بهداشتی و حقوق کارگری را اعطا کند. این شامل اعطای حق سازماندهی به تعاونی‌ها یا انجمن‌ها و حصول اطمینان از گنجاندن آن‌ها در سیاست‌های مدیریت پسماند است.

ب) ظرفیت‌سازی: افزایش مهارت‌ها و دانش جمع‌کنندگان و بازیافت‌کنندگان غیر رسمی زباله برای توسعه و توانمندسازی حرفه‌ای آن‌ها بسیار مهم است. برای این منظور، اقدامات زیر را می‌توان انجام داد: - آموزش: دولت‌ها، سازمان‌های غیردولتی و مسئولان مدیریت پسماند باید برنامه‌های آموزشی را برای تقویت مهارت‌های فنی زباله‌گردان، مانند تفکیک زباله، تکنیک‌های بازیافت، و کارآفرینی ارائه دهند. علاوه بر این، دسترسی به آموزش رسمی و آموزش حرفه‌ای می‌تواند راه‌های جایگزین اشتغال را برای زباله‌گردان باز کند. - سواد مالی و کارآفرینی: تجهیز زباله‌گردها به سواد مالی و مهارت‌های کارآفرینی می‌تواند به آن‌ها کمک کند تا کسب‌وکارهای کوچک و تعاونی‌های خود را ایجاد کنند. این شامل آموزش در مورد بودجه‌بندی، برنامه‌ریزی مالی و استراتژی‌های بازاریابی است. تشویق زباله‌گردان به تشکیل تعاونی‌ها یا گروه‌ها می‌تواند به آن‌ها قدرت دهد تا به طور جمعی دربارهٔ قیمت‌های بهتر برای بازیافت‌ها مذاکره کنند، به منابع دسترسی پیدا کنند و از حقوق خود دفاع کنند. تعاونی‌ها همچنین می‌توانند از اعضا حمایت مالی و اجتماعی کنند. - آگاهی و حمایت: افزایش آگاهی عموم مردم در مورد اهمیت کار جمع زباله‌گردان می‌تواند به کاهش نكوهش اجتماعی کمک کند. کمپین‌های حمایتی می‌توانند نقش بسزایی در تغییر نگرش عمومی و ارتقای حقوق و منزلت زباله‌گردان داشته باشند.

ج) تأمین اجتماعی: تأمین اجتماعی به مجموعه‌ای از سیاست‌ها و برنامه‌ها گفته می‌شود که برای محافظت از افراد و خانواده‌هایشان در برابر خطرات و ناامنی‌های مختلف طراحی شده است. این شامل اقداماتی مانند بیمه درمانی، طرح‌های بازنشستگی، مزایای از کارافتادگی، و مزایای بیکاری است. هدف این برنامه‌ها ارائهٔ یک شبکهٔ ایمنی برای افراد، تضمین رفاه آن‌ها و محافظت از آن‌ها در برابر فقر و آسیب‌پذیری است. برای جمع‌کنندگان و بازیافت‌کنندگان غیررسمی زباله، دسترسی به امنیت اجتماعی می‌تواند تأثیری دگرگون‌کننده بر زندگی آن‌ها داشته باشد. نخست اینکه، در صورت بیماری، جراحت یا ناتوانی از آن‌ها حمایت مالی می‌کند. بسیاری از زباله‌گردان در محیط‌های خطرناک کار می‌کنند و خود را در معرض خطرات و حوادث بهداشتی قرار می‌دهند. دسترسی به بیمه درمانی و مزایای ناتوانی تضمین می‌کند که آن‌ها می‌توانند درمان‌های پزشکی و حمایت‌های مالی لازم را در مواقع بحران دریافت کنند [۱۵]. دوم اینکه، برنامه‌های تأمین اجتماعی می‌تواند به کاهش بار فقر در میان جمع‌کنندگان غیررسمی زباله کمک کند. اکثر زباله‌گردان درآمد ناچیزی دارند و این امر باعث می‌شود که آن‌ها نتوانند نیازهای اولیه خود را برآورده کنند و از خانواده‌هایشان حمایت کنند. تأمین اجتماعی با تأمین درآمد تضمینی از طریق طرح‌های بازنشستگی یا برنامه‌های حمایتی دیگر، زباله‌گردان را قادر می‌سازد تا معیشت پایدار و مطمئن‌تری داشته باشند. علاوه بر این، مشارکت چندین ذی‌نفع از جمله سازمان‌های دولتی، سازمان‌های غیردولتی (NGO) و شرکت‌های مدیریت پسماند در اجرای امنیت اجتماعی و مزایای زباله‌گردان بسیار مهم است. همکاری بین این ذی‌نفعان می‌تواند به راه‌حل‌های جامع‌تر و مؤثرتر منجر شود. دولت‌ها می‌توانند سیاست‌ها و قوانینی را برای حمایت از حقوق و رفاه زباله‌گردان وضع کنند، در حالی که سازمان‌های غیردولتی و شرکت‌های مدیریت پسماند می‌توانند از نظر ظرفیت‌سازی، حمایت و تخصیص منابع حمایت کنند.

د) توسعهٔ زیرساخت‌ها: زیرساخت‌های کافی نقش حیاتی در مدیریت مؤثر پسماند ایفا می‌کند. دولت‌ها و ذی‌نفعان مربوطه باید در توسعهٔ مراکز جمع‌آوری زباله، تأسیسات بازیافت مواد (MRF)، کارخانه‌های بازیافت و تأسیسات کمپوست سرمایه‌گذاری کنند. این زیرساخت‌ها نه تنها فضای مناسبی را برای تفکیک و پردازش زباله فراهم می‌کنند، و امکان دسترسی آسان را برای زباله‌گردان برای فروش کالاهای بازیافتی خود فراهم می‌آورند، بلکه فرصت‌های شغلی برای زباله‌گردان ایجاد می‌کنند [۱۶].

ر) ظرفیت‌سازی و آموزش: راه حل مهم دیگر، ارائهٔ برنامه‌های ظرفیت‌سازی و آموزشی برای جمع‌کنندگان و بازیافت‌کنندگان زباله است [۱۷]. این برنامه‌ها می‌توانند بر بهبود مهارت‌های آن‌ها در تفکیک زباله، تکنیک‌های بازیافت، بهداشت و ایمنی شغلی، کارآفرینی و مدیریت مالی تمرکز کنند. جمع‌کنندگان و بازیافت‌کنندگان زباله با افزایش قابلیت‌های خود می‌توانند کارایی، بهره‌وری و پتانسیل تولید درآمد خود را افزایش دهند. در نتیجه، راه‌حل‌های مدیریتی مؤثر برای جمع‌آوری و بازیافت غیررسمی زباله برای رسیدگی به چالش‌های پیش روی زباله‌گردان و ترویج شیوه‌های مدیریت زبالهٔ پایدار ضروری است. این راه‌حل‌ها شامل رسمی‌سازی، ظرفیت‌سازی، توسعهٔ زیرساخت‌ها، همکاری، توسعهٔ بازار، ادغام اجتماعی و نظارت است. با

اجرای این راه‌حل‌ها، می‌توانیم یک سیستم مدیریت پسماند فراگیرتر، سازگار با محیط زیست و از نظر اقتصادی به صرفه‌تر ایجاد کنیم که هم به نفع جمع‌کنندگان و بازیافت‌کنندگان زباله و سازمان‌های درگیر، و هم به نفع جامعه باشد.

ه) دسترسی به خدمات مراقبت‌های بهداشتی: دسترسی آسان به خدمات مراقبت‌های بهداشتی و درمانی نقش مهمی در بهبود سلامت زباله‌گردان و همچنین خانواده‌های آن‌ها ایفا می‌کند. نخست، دسترسی به خدمات مراقبت‌های بهداشتی، تشخیص و درمان زودهنگام شرایط بهداشتی را تضمین می‌کند [۱۸]. زباله‌گردان بیشتر در معرض خطرات شغلی مانند قرار گرفتن در معرض مواد شیمیایی سمی، اشیای تیز و صدمات فیزیکی هستند. بدون توجه پزشکی مناسب، این افراد ممکن است از مشکلات تنفسی، بیماری‌های پوستی، اختلالات اسکلتی - عضلانی و سایر بیماری‌های مرتبط با کار رنج ببرند. دسترسی به موقع به خدمات مراقبت‌های بهداشتی، شناسایی این مسائل بهداشتی را در مراحل اولیه ممکن می‌سازد و امکان درمان سریع و پیشگیری از عوارض بعدی را فراهم می‌کند. دوم، دسترسی به خدمات مراقبت‌های بهداشتی، مراقبت‌های پیشگیرانه و آموزش بهداشت را فراهم می‌کند. زباله‌گردان اغلب در مورد شیوه‌های بهداشتی مناسب و روش‌های پیشگیری از بیماری آگاهی ندارند. با دسترسی به خدمات مراقبت‌های بهداشتی، آن‌ها می‌توانند واکسیناسیون‌های ضروری، معاینات منظم بهداشتی و برنامه‌های آموزش بهداشت را دریافت کنند. این خدمات به دانش آن‌ها در مورد اهمیت بهداشت شخصی، تکنیک‌های مناسب حمل زباله و استفاده از وسایل حفاظتی کمک می‌کند. مراقبت‌های پیشگیرانه نه تنها از رفاه زباله‌گردان محافظت می‌کند، بلکه پاکیزگی و بهداشت کلی جوامعی را که به آن‌ها خدمت می‌کنند نیز ارتقا می‌دهد. علاوه بر این، دسترسی به مراقبت‌های بهداشتی روان برای زباله‌گردان بسیار مهم است. ماهیت کار آن‌ها، همراه با طرد اجتماعی و به حاشیه راندن، می‌تواند به استرس، اضطراب و افسردگی منجر شود. خدمات مراقبت‌های بهداشتی که شامل حمایت از سلامت روان می‌شوند می‌توانند مشاوره، درمان و گروه‌های حمایتی را برای رسیدگی به رفاه روانی زباله‌گردان ارائه دهند. این می‌تواند انعطاف‌پذیری ذهنی، مکانیسم‌های مقابله‌ای و کیفیت کلی زندگی آن‌ها را بهبود بخشد. دسترسی به خدمات بهداشتی و درمانی در توانمندسازی اجتماعی نیز نقش دارد. زباله‌گردان اغلب با تبعیض و طرد اجتماعی مواجه می‌شوند که می‌تواند مانع دسترسی آن‌ها به خدمات اولیه از جمله مراقبت‌های بهداشتی شود. جامعه با ارائه دسترسی برابر به خدمات بهداشتی و درمانی، حقوق و منزلت آن‌ها را به رسمیت می‌شناسد. آن‌ها را قادر می‌سازد بدون ترس از قضاوت یا تعصب به دنبال کمک پزشکی باشند. علاوه بر این، هنگامی که زباله‌گردان از سلامت خوبی برخوردار باشند، می‌توانند به طور فعال به اقتصاد و جامعه کمک کنند و چرخه فقر را بشکنند و وضعیت کلی اجتماعی - اقتصادی خود را بهبود بخشند. علاوه بر این، دسترسی به خدمات مراقبت‌های بهداشتی برای زباله‌گردان می‌تواند به پایداری محیط زیست کمک کند. زباله‌گردان با جمع‌آوری مواد قابل بازیافت نقش حیاتی در بازیافت و کاهش زباله ایفا می‌کنند. با این حال، شرایط سلامت آن‌ها می‌تواند بر کارایی و بهره‌وری آن‌ها تأثیر بگذارد. با حصول اطمینان از دسترسی به مراقبت‌های بهداشتی مناسب، زباله‌گردان می‌توانند رفاه فیزیکی مطلوبی را حفظ کنند و آن‌ها را قادر به ادامه کار ارزشمند خود کنند. این به نوبه خود باعث ارتقای محیطی پاک‌تر، کاهش زباله‌های ارسالی به مرکز دفن و حفظ منابع می‌شود. در نتیجه، دسترسی به خدمات مراقبت‌های بهداشتی برای بهبود سلامت و رفاه زباله‌گردان ضروری است. تشخیص و درمان به موقع، شرایط بهداشتی را امکان‌پذیر می‌کند، مراقبت‌های پیشگیرانه و آموزش بهداشت را ارائه می‌دهد، به نگرانی‌های مربوط به سلامت روان می‌پردازد، افراد را از نظر اجتماعی توانمند می‌کند و به پایداری محیطی کمک می‌کند. درک اهمیت مراقبت‌های بهداشتی برای زباله‌گردان نه تنها به نفع فردی آن‌هاست، بلکه جامعه‌ای سالم‌تر و فراگیرتر را ارتقا می‌دهد. دولت‌ها، سازمان‌ها و جوامع جهت تضمین دسترسی عادلانه به خدمات مراقبت‌های بهداشتی برای این کارگران آسیب‌پذیر باید همکاری کنند.

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۴-۱. نتیجه‌گیری

جهان در حال حاضر با افزایش بی‌سابقه تولید زباله جامد به دلیل عواملی مانند رشد جمعیت، شهرنشینی و تغییر الگوهای مصرف مواجه است. این بحران فزاینده زباله، تهدیدهای جدی هم برای محیط زیست و هم برای سلامت عمومی ایجاد می‌کند و نیاز به

توجه فوری دارد. مدیریت مؤثر زباله، با تأکید قوی بر پتانسیل بازیافت، در کاهش اثرات نامطلوب منتسب به زباله‌های جامد بسیار مهم است. بازیافت با کاهش فشار بر منابع طبیعی، کاهش مصرف انرژی و به حداقل رساندن انتشار گازهای گلخانه‌ای به عنوان سنگ‌بنای مدیریت پسماند مسئولانه عمل می‌کند. علاوه بر این، بازیافت به جلوگیری از نیازمندی به زمین بیشتر برای دفن زباله و همچنین سوزاندن آن کمک می‌کند، که در غیر این صورت، حجم بالای پسماند تولیدی می‌تواند به آلودگی خاک و هوا منجر شود. اما مسئله بازیافت به دلایل مختلفی در کشورهای در حال توسعه با چالش‌های مهمی مواجه است. نخست، زیرساخت‌های محدود و نبود سیستم یکپارچه مدیریت پسماند، جمع‌آوری، دسته‌بندی و پردازش مواد قابل بازیافت را دشوار می‌سازد. کمبود بودجه نیز مانع ایجاد تسهیلات و برنامه‌های بازیافت می‌شود. علاوه بر این، آگاهی و آموزش کم در مورد اهمیت بازیافت به عدم مشارکت عمومی کمک می‌کند. عوامل اقتصادی نیز نقش دارند، زیرا بازیافت ممکن است در کشورهایی که با فقر و نیازهای اساسی دست‌وپنجه نرم می‌کنند، به عنوان یک هزینه اضافی به جای یک اولویت در نظر گرفته شود.

در این زمینه، زباله‌گردان که به عنوان عناصر غیررسمی بازیافت فعالیت می‌کنند، مواد ارزشمندی مانند پلاستیک، فلزات و کاغذ را از محل‌های تلنبار و مراکز دفن زباله تفکیک و بازیافت می‌کنند. این افراد، اغلب به حاشیه رانده شده و از سیستم‌های رسمی مدیریت پسماند حذف می‌شوند. عدم رسمی بودن شغل آن‌ها باعث حضور نامناسب و بدون سازماندهی آن‌ها در سطح شهر می‌شود که از نظر زیبایی‌شناختی نیز چهره ناخوشایندی ایجاد می‌کند. با این حال، نقش حیاتی آن‌ها با چالش‌های متعددی همراه است. زباله‌گردان به دلیل مواجهه مستقیم با انواع مختلف مواد شیمیایی، عوامل بیماری‌زا و همچنین حمل کالاهای سنگین به شکل نایلون، مستعد عفونت، بیماری و مشکلات اسکلتی - عضلانی هستند. به دلیل مواجهه با انواع پاتوژن‌های احتمالی موجود در پسماندها، زباله‌گردان می‌توانند به عنوان یک بمب پاتوژنی متحرک عمل کنند و باعث انتشار عوامل بیماری‌زای عفونی شوند. همچنین، ماهیت غیررسمی کار، آن‌ها را از نظر اقتصادی آسیب‌پذیر می‌کند و در معرض استثمار قرار می‌دهد و از حمایت‌های اجتماعی ضروری محروم می‌شوند. اما با وجود همه این مسائل، به دلایل ضرورت اقتصادی، عدم امکان یافتن شغل رسمی، وجود بازار برای کالاهای بازیافتی، حاشیه‌نشینی و غیره، افراد به زباله‌گردی به عنوان یک منبع درآمد روی می‌آورند.

برای بهبود وضعیت زباله‌گردان و حمایت از مشارکت آن‌ها، چندین استراتژی راه حل باید اجرا شود. این راهکارها شامل به رسمیت شناختن نقش آن‌ها به عنوان مشارکت‌کنندگان مهم در مدیریت زباله، گنجاندن آن‌ها در برنامه‌های مدیریت زباله شهری و تعاونی‌ها برای ارائه حمایت‌های قانونی، درآمد پایدار و دسترسی به خدمات اجتماعی است. با لحاظ کردن نقش و مسئولیت برجسته زباله‌گردان در سیستم مدیریت پسماند، آموزش بهداشت بسیار مهم بوده و از طریق تجهیز زباله‌گردان به دانش در مورد شیوه‌های تفکیک ایمن، استفاده صحیح از تجهیزات حفاظت فردی و آگاهی از خطرات بهداشتی، آن‌ها را قادر می‌سازد به طور مؤثر از رفاه خود محافظت کنند و از طرفی، باعث انتشار عوامل بیماری‌زا نیز نشوند. دسترسی به خدمات مراقبت‌های بهداشتی، که از طریق طرح‌هایی مانند کلینیک‌های سیار مراقبت‌های بهداشتی و بیمه درمانی به صرفه تسهیل می‌شود، تضمین می‌کند که زباله‌گردان به مراقبت‌های پزشکی، از جمله معاینات منظم و واکسیناسیون برای پیشگیری و مدیریت مسائل بهداشتی، دسترسی به‌موقع داشته باشند.

سازماندهی زباله‌گردان تحت عنوان «نیروهای غیررسمی شهرداری» و تسهیل دسترسی آن‌ها به خدمات بهداشتی درمانی یک سیاست برد - برد است که طی آن، هم شهرداری و هم زباله‌گردان منتفع می‌شوند. اذعان به چالش‌های سلامت روانی که با آن‌ها مواجه هستند، دسترسی به خدمات مشاوره، و تقویت شبکه‌های حمایت از هم‌تایان می‌تواند به سلامت روانی آن‌ها کمک کند.

در نتیجه، با ادامه افزایش تولید زباله جامد، بازیافت، به عنوان یکی از اجزای اصلی مدیریت پسماند، به تلاش‌های زباله‌گردان نیز متکی است. شناخت نقش محوری آن‌ها و پرداختن به مسائل بهداشتی مرتبط با شغل و آسیب‌پذیری‌های اقتصادی که با آن مواجه هستند برای آینده‌ای پایدار ضروری است. اجرای استراتژی‌های مناسب شامل به رسمیت شناختن زباله‌گردان، آموزش بهداشت، دسترسی به مراقبت‌های بهداشتی و بهبودهای زیست‌محیطی می‌تواند تضمین کند که زباله‌گردان در شرایط ایمن‌تر فعالیت می‌کنند و در عین حال کمک قابل توجهی به جامعه پایدارتر و سالم‌تر می‌کنند.

در کلان‌شهر تهران تعداد بسیار بالایی از زباله‌گردها در سطح شهر وجود دارد که به صورت پراکنده در نقاط مختلف شهر در حال فعالیت هستند. حضور زباله‌گردان با وضعیت نامناسب در سطح شهر باعث شکل‌گیری مناظر ناخوشایند برای عموم مردم می‌شود. در این میان، شهرداری، به عنوان متولی مدیریت پسماند و زیباسازی محیط شهری، با اجرای طرح سازماندهی زباله‌گردان می‌تواند هم از نظر اقتصادی و هم از نظر زیباسازی محیط شهری، منافع زیادی به دست آورد. با سازماندهی زباله‌گردان، شهرداری می‌تواند خود کالاهای بازیافتی را مدیریت می‌کند و به فروش برساند، که این امر موجب درآمدزایی شهرداری می‌شود. همچنین، با سازماندهی زباله‌گردان و متحدالشکل کردن آن‌ها، باعث زیباسازی محیط شهری می‌شود.

۴-۲. پیشنهادها

در پایان، با توجه به وضعیت کلان‌شهر تهران، سه رویکرد را برای سازماندهی زباله‌گردان می‌توان متصور شد: واگذاری سازماندهی زباله‌گردان به شرکت‌های خصوصی جمع‌آوری پسماند تا از آن‌ها به عنوان نیروهای خود بهره‌گیرند. تشکیل تعاونی‌های زباله‌گردان زیر نظر سازمان مدیریت پسماند. در این حالت، زباله‌گردان در تعاونی‌هایی گنجانده می‌شوند که در قرارداد با شهرداری‌ها هستند. این یک رویکرد برد - برد برای طرفین است. مشارکت شهرداری و بخش خصوصی. در این حالت، شهرداری زیرساخت‌ها و تجهیزات را فراهم می‌کند، در حالی که شرکت خصوصی جمع‌کننده زباله، نیروی کار را تأمین می‌کند. درخور یادآوری است، قبل از هرگونه اقدام به سازماندهی زباله‌گردان، لزوم توجه و بررسی موارد ذیل ضروری می‌نماید: با در نظر گرفتن فقدان اطلاعات رسمی و به‌روز در رابطه با میزان بازیافت و همچنین مسیرهای مختلف انحراف زباله، لزوم انجام مطالعات در این زمینه ضروری است. برای سازماندهی زباله‌گردان، به اطلاعاتی در رابطه با تعداد آن‌ها، توزیع سنی، جنس، ملیت، سطح تحصیلات و غیره نیاز است. با توجه به اینکه تا کنون در این زمینه مطالعه و بررسی صورت نگرفته، لزوم انجام این مطالعات ضروری است. بررسی و ارزیابی زیرساخت‌های مدیریت پسماند شهرستان تهران در راستای اجرای طرح‌های بازیافت و تفکیک از مبدأ. بررسی امکان همکاری با بخش خصوصی در زمینه سازماندهی و مدیریت زباله‌گردان. انجام مطالعات توسعه تأسیسات بازیافت پسماند (MRF) در شهر تهران.

منابع

1. Kaza S, Yao L, Bhada-Tata P, Van Woerden F. What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. World Bank Publications; 2018.
2. Hamer G. Solid waste treatment and disposal: effects on public health and environmental safety. *Biotechnology advances* 2003;22(1-2):71-9.
3. Tchobanoglous G, Kreith F. *Handbook of Solid Waste Management*. 2nd ed. McGraw-Hill; 2002.
4. *Comprehensive Waste Management Plan for Tehran City*, Tehran ,Urban Reaserch and Planning Center, 2019.
5. Morais J, Corder G, Golev A, Lawson L, Ali S. Global review of human waste-picking and its contribution to poverty alleviation and a circular economy. *Environmental Research Letters* 2022;17(6):063002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac6b49>.
6. Medina M. The informal recycling sector in developing countries : organizing waste pickers to enhance their impact. Gridlines, No 44 Washington, DC : World Bank Group 2008.
7. Rateau M, Tovar L. Formalization of wastepickers in Bogota and Lima: Recognize, regulate, and then integrate? *EchoGéo* 2019(47).
8. Coletto D, Carbonai D. What does it mean to have a dirty and informal job? The case of waste pickers in the Rio Grande do Sul, Brazil. *Sustainability* 2023;15(3):2337.
9. Dias S. Waste and development—perspectives from the ground. *The journal of field actions* 2012(Special Issue 6).
10. Makhubele M, Ravhuhali K, Kuonza L, Mathee A, Kgalamono S, Made F, et al. Common Mental Health Disorders among Informal Waste Pickers in Johannesburg, South Africa 2018—A Cross-Sectional Study. *International journal of environmental research and public health* 2019;16(14):2618.
11. Ceballos DM, Dong Z. The formal electronic recycling industry: Challenges and opportunities in occupational and environmental health research. *Environment international* 2016;95:157-66. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.07.010>.
12. Gutberlet J, Uddin SMN. Household waste and health risks affecting waste pickers and the environment in low- and middle-income countries. *International journal of occupational and environmental health* 2017;23(4):299-310. <https://doi.org/10.1080/10773525.2018.1484996>.
13. Yang H, Ma M, Thompson JR, Flower RJ. Waste management, informal recycling, environmental pollution and public health. *Journal of epidemiology and community health* 2018;72(3):237-43. <https://doi.org/10.1136/jech-2016-208597>.
14. Mlotshwa N, Dayaram T, Khanyile A, Sibanda PA, Erwin K, Fleetwood TJJJoER, et al. Working with Waste: Hazards and Mitigation Strategies Used by Waste Pickers in the Inner City of Durban. 2022;19(20):12986.
15. Kistan J, Ntlebi V, Made F, Kootbodien T, Wilson K, Tlotleng N, et al. Health care access of informal waste recyclers in Johannesburg, South Africa. *PLoS One* 2020;15(7):e0235173.
16. Fehr M. The management challenge for household waste in emerging economies like Brazil: Realistic source separation and activation of reverse logistics. *Waste management research* 2014;32(9_suppl):32-9.
17. Singh A, Panchal R, Naik M. Circular economy potential of e-waste collectors, dismantlers, and recyclers of Maharashtra: a case study. *Environmental Science Pollution Research* 2020;27:22081-99.
18. Zolnikov TR, Cruvinel V, Lopez P, Pezeshkian F, Stoves-Tucker L, Galato D, et al. A qualitative study on noncommunicable diseases in waste pickers in brazil. *Journal of Health Pollution* 2021;11(30):210603.



A Global Review of Artificial Intelligence Applications in Metropolitan Transportation

Alireza Noory 

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

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

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

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

ABSTRACT

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

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



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

Introduction

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

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

Methodology

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

- Data Collection and Analysis

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

- Traffic Light Optimization

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

- Accident Prediction and Prevention

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

- Challenges in Implementation

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

Conclusion

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

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

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



واکاوی تجارب جهانی هوش مصنوعی در حوزه‌های حمل‌ونقل کلان‌شهری

علیرضا نوری

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

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰

کلیدواژه:

هوش مصنوعی،

حمل‌ونقل،

شهری،

ایمنی،

استراتژی‌های ترافیکی.

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

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

© علیرضا نوری

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



مقدمه

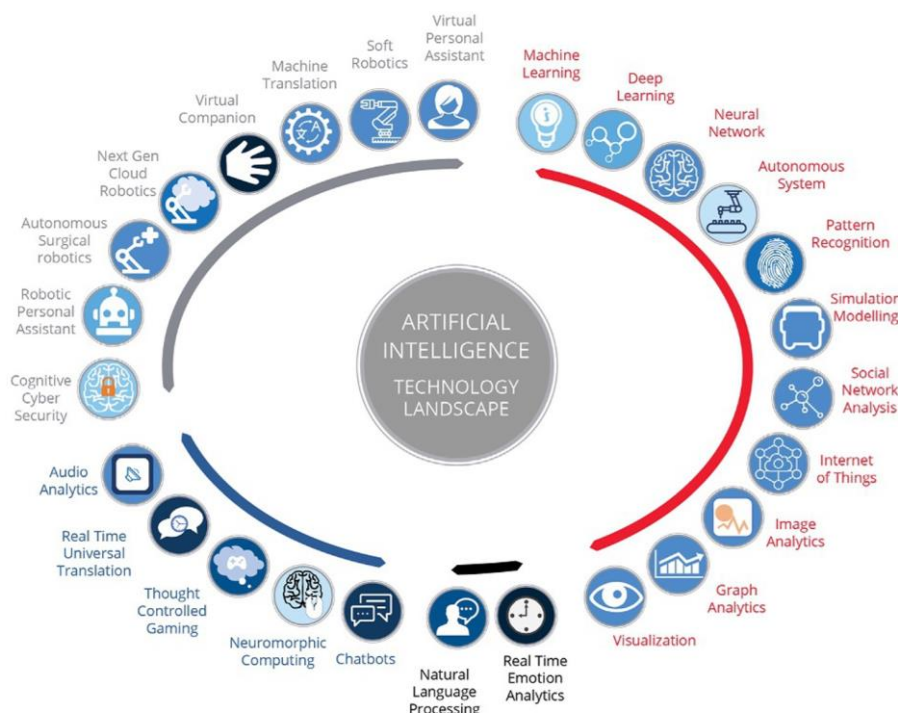
رشد سریع شهرنشینی، چالش‌های قابل توجهی را برای سیستم‌های حمل‌ونقل کلان‌شهری ایجاد کرده است، از جمله ازدحام ترافیک، آلودگی هوا و نگرانی‌های مرتبط با ایمنی شبکه حمل‌ونقل. به طور متوسط، بیش از ۵۰۰ نفر در سال در شهر تهران بر اثر حوادث ترافیکی جان خود را از دست می‌دهند که رقم قابل توجهی را به خود اختصاص می‌دهد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

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

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

هوش مصنوعی و کاربردهای آن در برنامه‌ریزی شهری

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



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

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

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

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

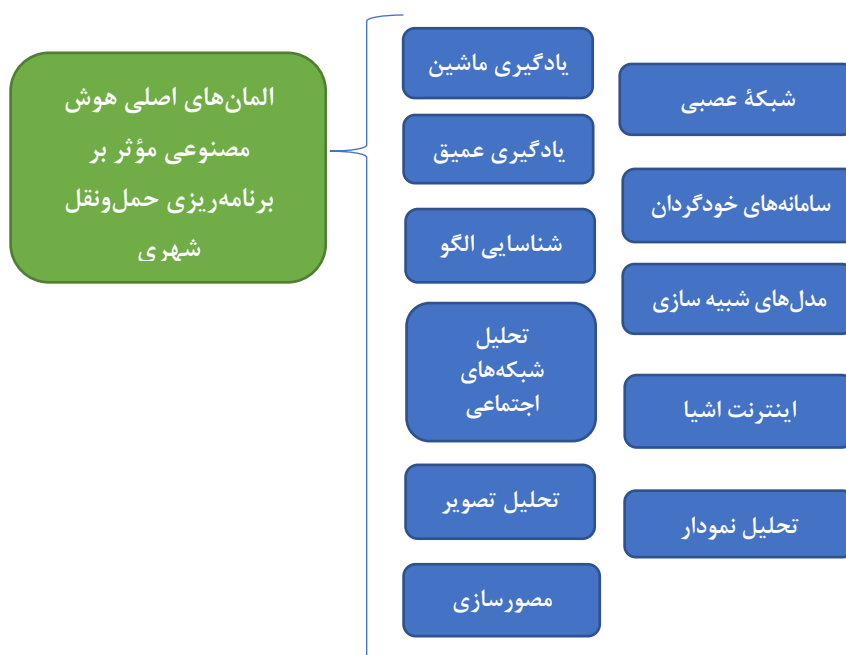
مصنوعی (Artificial Neural Networks) شامل لایه‌های گره، یک یا چند لایه زیرین و یک لایه خروجی هستند. هر گره به عنوان یک نورون مصنوعی تصور می‌شود که به همسایه‌ای با وزن و آستانه مرتبط اتصال دارد [۵]. در این میان، شبکه‌های Generative Adversarial (GANs)ها نوعی از یادگیری ماشین هستند که در آن دو شبکه عصبی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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

هوش مصنوعی و سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند (ITS)

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

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

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

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

متاورس و سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند مبتنی بر داده (DDITS)

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

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

علاوه بر این، متاورس فرصت‌های منحصربه‌فردی برای بهبود محیط‌های کاری ارائه می‌دهد و امکان ایجاد دفاتر مجازی قابل تنظیم که انعطاف‌پذیری و خلاقیت را ترویج می‌کنند، فراهم می‌کند. این فناوری همچنین می‌تواند محیط‌های کاری را برای افراد دارای معلولیت بیشتر قابل دسترس کند و در نتیجه، دسترسی و مشارکت را گسترش دهد. با وجود نقاط مثبت متاورس، این فناوری نیازمند دقت نظر در مورد پیامدهای اخلاقی و خطرات حریم خصوصی ناشی از جمع‌آوری گسترده داده‌ها است [۱۲]. با جمع‌آوری داده‌های شخصی حساس، نگرانی‌ها در مورد رضایت کاربران و امنیت داده‌ها به شدت افزایش یافته است. کارشناسان بر اهمیت تنظیم مقررات پیشگیرانه و پذیرش اصول «حریم خصوصی» تأکید می‌کنند که جمع‌آوری داده‌ها را به اطلاعات ضروری محدود می‌کند و پردازش و ذخیره‌سازی داده‌ها را ایمن می‌سازد [۱۲].

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

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

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

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

سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش مصنوعی برای حمل‌ونقل شهری پایدار

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

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

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

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

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

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

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

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

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

چالش‌ها و موانع پیاده‌سازی

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

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

نتیجه‌گیری

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

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

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

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

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

منابع

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

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



Popularizing Urban Capital Projects: A Participatory Economics Approach to Enhancing Public Participation and Achieving Sustainable Growth in Metropolitan Areas

Reza Nasr Esfahani 

Associate Professor of Urban Economics, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran. Email: R.nasr@au.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

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

Keywords:
Popularization,
Urban Capital Projects,
Public Participation,
Sustainable Development.

ABSTRACT

This article examines the democratization of urban capital projects and its impact on public participation and sustainable development. In recent years, cities have faced challenges in financing and implementing infrastructure projects. One effective solution is to increase citizens' involvement in financing, decision-making, and executing urban projects. The Public-Private Partnership (PPP) model, which involves government collaboration with the private sector, offers benefits like reducing government expenditures, improving project quality, accelerating completion, and attracting foreign investment. However, challenges such as excessive dependence on private investors and potential corruption also exist. To address these issues, democratizing urban projects through active citizen participation is proposed. Crowdfunding, allowing citizens to contribute small investments to urban projects, has proven successful in countries like the U.S., Iceland, and France. This article is based on three theoretical frameworks: collaborative governance, social capital, and the sharing economy. In Iran, challenges like lack of transparency and unclear frameworks for crowdfunding hinder the effective implementation of this model. It is suggested to combine the PPP model with crowdfunding, create digital platforms for citizen participation, and offer financial incentives for small-scale investors. The conclusion emphasizes that democratizing urban projects is an innovative and effective approach for achieving sustainable urban development.

Cite this article: Nasr Esfahani, R. (2025). Popularizing Urban Capital Projects: A Participatory Economics Approach to Enhancing Public Participation and Achieving Sustainable Growth in Metropolitan Areas. *Urban Development Policy Making*, 2 (2), 141-157. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.512640.1020>



© Reza Nasr Esfahani
DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.512640.1020>

Introduction

Urbanization and fiscal constraints have made traditional government-led development models insufficient. In response, public-private partnerships and collaborative governance have emerged as alternative approaches to manage complexity and promote sustainability. This paper investigates how such models can improve urban infrastructure and service provision. Theoretical perspectives from governance, trust-building, and civic engagement provide the conceptual foundation. The aim is to understand the institutional factors that drive successful collaboration in urban contexts.

Methodology

The research employs a qualitative meta-analysis of scholarly literature and international reports from organizations such as the OECD and World Bank. It also includes case-based evidence from cities employing PPPs in transportation, housing, and environmental sectors. Key evaluation criteria include

stakeholder engagement, transparency, long-term financing, and risk-sharing mechanisms. Supplementary sources, such as government reports and urban planning documents, were also analyzed to enrich the findings.

Results

The study finds that cities with strong institutional frameworks and civic trust are more likely to succeed in implementing PPPs. Collaborative governance contributes to improved project accountability, citizen satisfaction, and resource efficiency. Case studies from Europe and developing nations reveal that integrated planning, legal clarity, and innovation drive performance. However, risks remain, especially where regulatory capacity or political commitment is weak.

Conclusion

Public-private partnerships and collaborative governance models offer promising solutions to the challenges of urban growth and sustainability. When designed with transparency, inclusiveness, and long-term vision, they can significantly enhance urban resilience and service quality. Policymakers must focus on building trust, ensuring accountability, and aligning stakeholder interests. Continued research and adaptive policy frameworks will be essential to scale successful practices globally.



مردمی سازی پروژه های سرمایه ای شهری: تحولی برای افزایش مشارکت عمومی و تحقق رشد پایدار در کلان شهرها

رضا نصر اصفهانی

دانشیار اقتصاد شهری دانشگاه هنر اصفهان. رایانامه: R.nasr@aui.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰

کلیدواژه:

پروژه های سرمایه ای شهری،

توسعه پایدار،

مشارکت عمومی،

مردمی سازی.

مشارکت جمعی در تعریف و اجرای پروژه های سرمایه ای شهری، یکی از روش های تجربه شده برای افزایش کارآمدی، شفافیت و تحقق توسعه پایدار است. این مقاله با بررسی تجربیات جهانی به صورت مروری و تحلیل نمونه هایی از سایر کشورها، نقش مشارکت جمعی در تحقق پروژه های عمومی خصوصی شهری را بررسی کرده است. پروژه های سرمایه ای شهری یکی از ابزارهای توسعه پایدار در کلان شهرها محسوب می شود. با این حال، فرایند تصمیم گیری و اجرای این پروژه ها بیشتر به صورت متمرکز و بدون مشارکت جمعی شهروندان انجام می شود. مردمی سازی این پروژه ها، شامل افزایش شفافیت، تقویت مشارکت جمعی و گسترش الگوهای تأمین مالی مشارکتی - جمعی است و به بهبود کارایی، پذیرش اجتماعی و پایداری مالی این طرح ها منجر می شود. در بررسی چالش ها و فرصت های اجرای این رویکرد، نقش قوانین و مقررات خاص و تعریف شفاف موضوع در قوانین و مقررات یکی از دلایل اصلی گسترش موضوع در کلان شهرهای کشورهای توسعه یافته بوده است. این موضوع به عنوان شرط لازم برای موفقیت پروژه ها تلقی می شود. می توان گفت که شرط کافی موضوع، وجود سرمایه اجتماعی است. حال با توجه به سه چالش محدودیت های بودجه ای، عدم اعتماد بین بخش های دولتی و خصوصی و ضعف در مشارکت مردمی با ترکیب سه نظریه حکمرانی مشارکتی، سرمایه اجتماعی و اقتصاد مشارکتی می توان راهکارهایی برای توسعه مدل های مردمی سازی با عنوان حکمرانی شبکه ای با سرمایه گذاری جمعی برای توسعه شهری پایدار ارائه داد.

استناد: نصر اصفهانی، رضا (۱۴۰۴). مردمی سازی پروژه های سرمایه ای شهری: تحولی برای افزایش مشارکت عمومی و تحقق رشد پایدار در کلان شهرها. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۲ (۲) ۱۴۱-۱۵۷.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.512640.1020>

© رضا نصر اصفهانی

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.512640.1020>



۱. مقدمه

با رشد روزافزون جمعیت شهری و افزایش نیاز به توسعه زیرساخت‌های شهری، مدیریت شهری با چالش‌های متعددی در تأمین مالی و اجرای پروژه‌های سرمایه‌ای مواجه شده است. یکی از راهکارهای مؤثر در این زمینه، مردمی‌سازی پروژه‌های شهری است که موجب افزایش شفافیت، کاهش فساد، بهبود کیفیت اجرا و پذیرش اجتماعی این پروژه‌ها می‌شود [۱].

این موضوع در کلان‌شهرها به عنوان مراکز اقتصادی و اجتماعی جوامع، بستر احساس می‌شود. تأمین مالی زیرساخت‌های حمل‌ونقل، تأسیسات شهری و پروژه‌های زیست‌محیطی، پذیرش اجتماعی این پروژه‌ها و نااطمینانی به کارآمدی مدیریت از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی شهرداری‌ها در کلان‌شهرها است. راهکار پیشنهادشده بر اساس تجربه کشورهای، افزایش مشارکت عمومی و کاهش وابستگی به منابع مالی عمومی است. مفهوم «مردمی‌سازی» به عنوان رویکردی نوین در مدیریت پروژه‌های شهری، بر افزایش نقش شهروندان در فرایندهای تصمیم‌گیری، تأمین مالی، و اجرای پروژه‌ها تأکید دارد. این مقاله به دنبال بررسی مفاهیم زیر است:

- بررسی مفهوم مردمی‌سازی پروژه‌های شهری و تأثیر آن بر توسعه پایدار
- تحلیل مدل‌های مختلف مشارکت عمومی در پروژه‌های سرمایه‌ای شهری
- بررسی مطالعات موردی از کشورهای مختلف
- ارائه راهکارهایی برای توسعه مدل‌های مردمی‌سازی در کلان‌شهرهای در حال توسعه

۲. مبانی نظری

مشارکت عمومی و خصوصی^۱ (PPP) یک مدل همکاری میان بخش عمومی (عمومی) و بخش خصوصی است که در آن هر دو طرف با هدف ارائه خدمات عمومی یا اجرای پروژه‌های زیرساختی در کنار یکدیگر عمل می‌کنند. این مدل معمولاً زمانی به کار می‌رود که بخش عمومی منابع کافی برای تأمین مالی و یا اجرایی کردن پروژه‌ها ندارد و بخش خصوصی می‌تواند با استفاده از منابع و تخصص خود، پروژه‌ها را به انجام رساند [۱]. در این مدل، مسئولیت‌ها و ریسک‌های مختلف بین دو طرف تقسیم می‌شود. بخش خصوصی معمولاً مسئولیت طراحی، تأمین مالی، ساخت و گاهی نیز مدیریت پروژه‌ها را به عهده می‌گیرد، در حالی که بخش عمومی نظارت بر پروژه را انجام داده و ممکن است به طور جزئی در تأمین منابع مالی یا ارائه تضمین‌های عمومی شرکت کند. در نهایت، هر دو طرف از منافع حاصل از پروژه بهره‌برداری می‌کنند [۲]. مزایای این مدل شامل بهینه‌سازی منابع، تسریع در اجرای پروژه‌ها و بهبود کیفیت خدمات است، اما از طرفی ممکن است چالش‌هایی همچون تقسیم ناعادلانه ریسک‌ها و وابستگی به سرمایه‌گذاران خصوصی برای بخش عمومی پیش آید [۳].

انواع مشارکت [۱۸]

در مشارکت عمومی و خصوصی، شراکت بین بخش خصوصی و عمومی به شکل‌های مختلفی صورت می‌گیرد. این شراکت‌ها به طور کلی بسته به سطح مشارکت و مسئولیت‌های هر طرف (دولت و بخش خصوصی) به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شود. در زیر انواع مختلف شراکت‌های PPP آورده شده است [۲]:

- شراکت تأمین مالی^۲: در این مدل، بخش خصوصی مسئول تأمین مالی، طراحی، ساخت، و بهره‌برداری از پروژه است. پس از مدت زمان معین (که معمولاً بر اساس قرارداد است)، مالکیت پروژه به بخش عمومی منتقل می‌شود.
- شراکت تأمین مالی و بهره‌برداری^۳: بخش خصوصی نه تنها مسئول تأمین مالی، طراحی و ساخت پروژه است، بلکه مالکیت کامل پروژه را نیز حفظ می‌کند و به مدت طولانی بهره‌برداری می‌کند. دولت در این مدل کمتر درگیر است.

۱. PPP مخفف «Public-Private Partnership» به معنای مشارکت عمومی و خصوصی است. این مدل همکاری، اشاره به یک شراکت است که در آن بخش عمومی و بخش خصوصی با هدف اجرای پروژه‌های عمومی یا ارائه خدمات مشترک همکاری می‌کنند.

2. Build-Operate-Transfer - BOT
3. Build-Own-Operate - BOO

- شراکت اجاره و بهره‌برداری^۱: بخش خصوصی پروژه‌ای را که توسط دولت ساخته شده است، اجاره می‌کند و بهره‌برداری از آن را به عهده می‌گیرد. پس از مدت زمان تعیین شده، کنترل و مالکیت پروژه به دولت بازمی‌گردد.
 - شراکت ساخت و بهره‌برداری^۲: بخش خصوصی مسئول طراحی، ساخت و بهره‌برداری از پروژه است، مالکیت پروژه پس از تکمیل به دولت منتقل می‌شود. دولت هزینه ساخت را تأمین می‌کند و بخش خصوصی مسئول بهره‌برداری و نگهداری است.
 - شراکت تقسیم درآمد^۳: بخش خصوصی و عمومی درآمد حاصل از پروژه را به طور مشترک تقسیم می‌کنند. این نوع شراکت معمولاً در پروژه‌هایی که قابلیت تولید درآمد دارد.
 - شراکت تأمین منابع^۴: بخش خصوصی پروژه را می‌سازد و سپس، آن را به دولت منتقل می‌کند تا دولت مسئول بهره‌برداری از پروژه باشد.
 - شراکت تأمین منابع و نگهداری^۵: بخش خصوصی مسئول ساخت، نگهداری و بهره‌برداری از پروژه است. این نوع شراکت برای پروژه‌هایی مناسب است که به نگهداری و تعمیرات منظم نیاز دارند.
- مردمی‌سازی به معنای افزایش نقش مردم در تصمیم‌گیری، طراحی، تأمین مالی، و نظارت بر اجرای پروژه‌های شهری است. این مفهوم می‌تواند شامل فرایندهای مشارکت عمومی، الگوهای سرمایه‌گذاری جمعی، و سازوکارهای شفافیت و پاسخ‌گویی در مدیریت شهری باشد [۴].

نظریه حکمرانی مشارکتی^۶

- بر همکاری میان دولت، بخش خصوصی و جامعه مدنی تأکید دارد و به دنبال مشارکت ذی‌نفعان مختلف در فرایند تصمیم‌گیری و اجرای سیاست‌ها است [۱]. این نظریه بر این باور است که برای دستیابی به توسعه پایدار، نیازمند تعامل و هماهنگی میان بخش‌های مختلف جامعه است. لذا ویژگی‌های زیر را می‌توان برای آن ارائه داد [۴]:
- مشارکت چندبخشی: حضور هم‌زمان دولت، بخش خصوصی و جامعه مدنی در فرایند تصمیم‌گیری.
 - شفافیت و پاسخ‌گویی: دسترسی آزاد به اطلاعات و امکان نظارت بر عملکرد سیاست‌ها.
 - توافق جمعی: فرایندهای تصمیم‌گیری مبتنی بر اجماع میان ذی‌نفعان.
 - انعطاف‌پذیری و یادگیری سازمانی: سیاست‌گذاری بر اساس تجربه و بازخورد مستمر.
 - اعتماد و تعامل سازنده: ایجاد فضای گفت‌وگو میان بازیگران مختلف برای حل تعارض‌ها.
- همچنین، می‌توان تصور کرد که کاربردهای حکمرانی مشارکتی در موارد زیر مؤثرتر از سایر ساختارها است [۴].
- مدیریت شهری: در سیاست‌های مدیریت کلان‌شهری، از این رویکرد برای بهبود مشارکت شهروندان در برنامه‌ریزی شهری استفاده می‌شود [۵].
 - محیط زیست و توسعه پایدار: همکاری دولت و بخش خصوصی برای مدیریت منابع طبیعی و کاهش آلودگی.
 - اقتصاد و سرمایه‌گذاری: مشارکت عمومی - خصوصی در توسعه زیرساخت‌ها و افزایش بهره‌وری اقتصادی.

نظریه سرمایه اجتماعی^۷

بر اهمیت اعتماد، شبکه‌های اجتماعی و همکاری‌های مردمی در توسعه اجتماعی و اقتصادی تأکید دارد [۶]. این نظریه معتقد است که ارتباطات اجتماعی قوی میان افراد و نهادها، زمینه را برای همکاری، کاهش هزینه‌های مبادله و افزایش کارایی در

1. Lease-Operate-Transfer - LOT
 2. Design-Build-Operate - DBO
 3. Revenue-Sharing
 4. Build-Transfer-Operate - BTO
 5. Build-Maintain-Operate - BMO
 6. Collaborative Governance
 7. Social Capital Theory

اجرای سیاست‌ها و پروژه‌ها فراهم می‌کند. در حوزه مشارکت عمومی - خصوصی، سرمایه اجتماعی نقش کلیدی در موفقیت پروژه‌ها، افزایش اعتماد میان بخش خصوصی و عمومی، و جلب حمایت شهروندان دارد. در یک چارچوب PPP، همکاری میان دولت، سرمایه‌گذاران خصوصی و جامعه مدنی، نیازمند سطح بالایی از سرمایه اجتماعی است تا تضادهای احتمالی کاهش یابد و فرایند اجرا تسهیل شود [۷]. می‌توان با استفاده از این نظریه، معیارهایی برای سرمایه اجتماعی در مدل‌های سرمایه‌گذاری عمومی خصوصی به شرح زیر تعریف کرد [۸].

- اعتماد: سرمایه اجتماعی اعتماد میان دولت، بخش خصوصی و شهروندان را تقویت می‌کند. در پروژه‌های PPP، اعتماد متقابل، خطرات مربوط به قراردادهای بلندمدت را کاهش داده و انگیزه‌های همکاری را افزایش می‌دهد.
- شبکه‌های اجتماعی^۲: شبکه‌های قوی میان ذی‌نفعان مختلف، فرصت‌هایی برای تبادل دانش و اطلاعات فراهم می‌کند و امکان حل تعارض‌ها را افزایش می‌دهد. ارتباطات غیررسمی و تعاملات بلندمدت، سبب انعطاف‌پذیری بیشتر در مدیریت پروژه‌های PPP می‌شود [۶].
- هنجارهای همکاری و تعهد اجتماعی^۳: همکاری اجتماعی و مشارکت عمومی در نظارت بر پروژه‌های PPP، شفافیت و پاسخ‌گویی را افزایش می‌دهد. جوامعی که دارای هنجارهای قوی برای همکاری هستند، احتمال بیشتری برای موفقیت در اجرای پروژه‌های مشارکتی دارند [۶].
- همچنین، می‌توان مواردی از کاربرد سرمایه اجتماعی در پروژه‌های PPP به گونه‌ای که به موفقیت بیشتر پروژه‌ها منجر شود ارائه داد [۹].

- زیرساخت‌های شهری و حمل‌ونقل: پروژه‌های مشارکتی مانند ساخت خطوط مترو و ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی، نیازمند مشارکت فعال مردم برای پذیرش و استفاده مؤثر از این زیرساخت‌ها است. اعتماد و تعامل مستمر بین دولت و شهروندان، حمایت عمومی از پروژه را تقویت می‌کند [۱].
- مدیریت منابع آب و محیط زیست: در مدل‌های PPP مربوط به تصفیه آب، انرژی‌های تجدیدپذیر و مدیریت پسماند، اعتماد میان نهادهای عمومی، بخش خصوصی و شهروندان برای موفقیت پروژه ضروری است. سرمایه اجتماعی، شکاف میان سیاست‌گذاران و ذی‌نفعان محلی را کاهش می‌دهد [۱].
- سرمایه‌گذاری در بهداشت و درمان: در کشورهای درحال توسعه، مدل‌های PPP در حوزه بهداشت عمومی مانند ساخت بیمارستان‌های مشارکتی، به‌شدت به اعتماد عمومی و همکاری اجتماعی وابسته‌اند. اگر شهروندان نسبت به شفافیت پروژه بی‌اعتماد باشند، مشارکت آن‌ها در استفاده از خدمات کاهش می‌یابد [۱].
- در نبود شبکه‌های اجتماعی کارآمد و تعهدات اجتماعی قوی، اجرای این پروژه‌ها با موانع جدی مواجه خواهد شد. برای بهبود حکمرانی مشارکتی، دولت‌ها باید به تقویت سرمایه اجتماعی از طریق شفافیت، پاسخ‌گویی و افزایش مشارکت شهروندان توجه کنند [۱۰].

نظریه اقتصاد مشارکتی^۴

این نظریه بر به‌کارگیری مدل‌های نوین تأمین مالی، اشتراک منابع و تعامل مستقیم میان بازیگران اقتصادی تأکید دارد. مشارکت عمومی و ابزارهای دیجیتال می‌تواند راهکارهای جایگزینی برای تأمین مالی پروژه‌های شهری ارائه دهند و از وابستگی به منابع دولتی بکاهند. مفهوم تأمین مالی جمعی^۵ (استفاده از بسترهای دیجیتال برای جذب سرمایه از شهروندان برای تأمین مالی پروژه‌های شهری) راهکار مؤثری در پروژه‌های PPP برای توسعه زیرساخت‌های شهری با مشارکت فعال شهروندان ایجاد کرده است [۱۱].

ابعاد کلیدی اقتصاد مشارکتی در توسعه شهری بر پایه ۳ اصل استوار است [۱۲]:

1. Trust
2. Social Networks
3. Norms of Reciprocity & Civic Engagement
4. Collaborative Economic Theory
5. Crowdfunding

تأمین مالی جمعی و شهرهای هوشمند: مدل های تأمین مالی جمعی این امکان را فراهم می کند که شهروندان در پروژه های زیرساختی مانند انرژی های تجدیدپذیر، حمل و نقل عمومی و فضاهای سبز مشارکت مالی داشته باشند. نمونه های موفق در شهرهای آمستردام و بارسلونا نشان داده است که استفاده از پلتفرم های دیجیتال می تواند سرمایه گذاری محلی را تقویت کند و وابستگی به بودجه های دولتی را کاهش دهد [۱۱].

نقش مشارکت عمومی - خصوصی در توسعه شهری: مدل PPP در ترکیب با ابزارهای اقتصاد مشارکتی، باعث افزایش اعتماد عمومی و بهره وری اقتصادی در پروژه های شهری می شود. نمونه هایی مانند سرمایه گذاری مردمی در ایستگاه های شارژ خودروهای برقی و پروژه های انرژی خورشیدی در شهرهای اروپایی نشان داده است که مدل های ترکیبی PPP و تأمین مالی جمعی می توانند به توسعه پایدار شهری کمک کنند [۶].

تأثیر اقتصاد مشارکتی بر عدالت اجتماعی و شهری: اقتصاد مشارکتی باعث می شود گروه های مختلف اجتماعی در فرایند توسعه شهری مشارکت فعال داشته باشند. پروژه های شهری که با سرمایه های خرد شهروندان تأمین مالی می شوند، احساس تعلق اجتماعی و مسئولیت پذیری شهری را تقویت می کنند [۶].

به عنوان نمونه، می توان به پروژه «SolarCity» در نیویورک اشاره کرد. این پروژه از شهروندان برای سرمایه گذاری در نیروگاه های خورشیدی دعوت کرد. این پروژه با تلفیق PPP با تأمین مالی جمعی، به جذب هزاران نفر از مردم برای مشارکت منجر شد [۱۵]. مدل «Lumo» در فرانسه: یک پلتفرم تأمین مالی جمعی در زیرساخت های سبز و انرژی های تجدیدپذیر بود. که با مشارکت دولت فرانسه، به عنوان نمونه موفق از ترکیب PPP و تأمین مالی جمعی شناخته می شود [۸]. پروژه «Better Reykjavik» در ایسلند، یک پلتفرم دیجیتال ایجاد شد و به شهروندان اجازه داد برای پروژه های شهری رأی دهند و ایده های جدید ارائه دهند [۱۵]. این مدل باعث افزایش شفافیت و پاسخ گویی در سیاست گذاری شهری شد. در مجموع، می توان گفت که نظریه اقتصاد مشارکتی با ترکیب ابزارهای دیجیتال می تواند فرایندهای تأمین مالی شهری را متحول کند. این رویکرد نه تنها هزینه های دولت را کاهش می دهد، بلکه موجب افزایش شفافیت، اعتماد عمومی و مشارکت مردمی در توسعه پایدار شهری می شود.

۳. بررسی تجربیات ایران و جهان

در بررسی تجربیات جهانی در هر یک از کشورها نمونه های زیادی از اجرای پروژه های موفق می توان پیدا کرد که در جدول ۱ برخی مورد بررسی قرار گرفته است [۵]. می توان گفت که علت انتخاب نمونه ها چند شاخص کلیدی بوده است که بر اساس امتیازدهی پروژه هایی که امتیاز بالاتر از میانگین داشتند انتخاب شدند. داده های جدول ۱ نشان می دهد چگونه بخش های عمومی و خصوصی در کنار مشارکت جمعی می توانند با همکاری یکدیگر به اهداف بزرگ و مؤثر دست یابند. استفاده از توان بخش خصوصی به دلایل زیر در راستای توسعه پایدار مهم است:

تأمین منابع مالی افزایش ظرفیت مالی: بخش خصوصی با تأمین منابع مالی از طریق سرمایه گذاری های داخلی یا بین المللی، به دولت کمک می کند تا پروژه ها را سریع تر و بدون افزایش بدهی های عمومی اجرا کند.

تخصص و نوآوری و مدیریت پروژه: شرکت های خصوصی معمولاً تجربه بیشتری در مدیریت پروژه های بزرگ دارند، که می تواند به اجرای مؤثرتر پروژه ها کمک کند.

کاهش ریسک های مالی: با تقسیم وظایف و مسئولیت ها، بخش خصوصی می تواند مدیریت منابع و زمان را به طور مؤثرتری انجام دهد، در حالی که بخش عمومی همچنان نظارت دارد.

افزایش کارایی و سرعت: بخش خصوصی می تواند پروژه ها را سریع تر و با کارایی بالاتر به نتیجه برساند، زیرا آن ها انگیزه های اقتصادی برای انجام پروژه ها به موقع دارند. این موضوع مخصوصاً در پروژه های زیرساختی که زمان و هزینه بر هستند، اهمیت دارد.

رشد اقتصادی و اشتغال: همکاری با بخش خصوصی می تواند به رشد اقتصادی در منطقه یا کشور کمک کند، چرا که با توسعه زیرساخت ها، تجارت و سرمایه گذاری در آن منطقه افزایش می یابد.

بخش عمومی تمرکز بر سیاست‌گذاری و نظارت: دولت‌ها می‌توانند به جای مدیریت مستقیم پروژه‌های پیچیده، به سیاست‌گذاری، نظارت و تنظیم مقررات بپردازند. این کمک می‌کند که منابع انسانی عمومی به جای درگیر شدن در مدیریت روزمره پروژه‌ها، به وظایف کلیدی خود بپردازند.

تحقق اهداف پایدار: بخش خصوصی در برخی پروژه‌ها می‌تواند تأمین مالی و توسعه زیرساخت‌های پایدار (مانند انرژی‌های تجدیدپذیر، حمل‌ونقل سبز و...) را فراهم کند. این بخش می‌تواند پروژه‌هایی را طراحی کند که به لحاظ محیط زیستی یا اقتصادی در بلندمدت پایدار باشند.

ارائه خدمات بهتر به مردم: بهبود کیفیت خدمات عمومی و افزایش بهره‌وری در ارائه خدمات و مشارکت بخش خصوصی در پروژه‌های PPP می‌تواند کیفیت خدمات عمومی را بهبود بخشد، زیرا بخش خصوصی معمولاً انگیزه‌های زیادی برای ارائه خدمات بهتر، سریع‌تر و با هزینه کمتر دارد.

جذب سرمایه‌گذاری‌های خارجی: بخش خصوصی قادر است سرمایه‌گذاری‌های خارجی را جذب کند که می‌تواند در تأمین منابع مالی برای پروژه‌های بزرگ کمک کند. این سرمایه‌گذاری‌ها می‌توانند از کشورهای مختلف یا از طریق بازارهای مالی بین‌المللی تأمین شوند.

بهبود اعتبار عمومی: این پروژه‌ها می‌توانند نشان‌دهنده توانایی دولت در جذب سرمایه‌گذاری و اجرای پروژه‌های بزرگ و مهم باشد.

جدول ۱. بررسی نمونه‌های موفق پروژه‌های مشارکت عمومی و خصوصی بر اساس نظریه اقتصاد مشارکتی (میلیون دلار) [۶]

نام پروژه	شروع ساخت	کل سرمایه	نقش بخش خصوصی	دست‌آوردها
	بهره‌برداری	جذب سرمایه	منافع بخش خصوصی	
متروی لندن	۲۰۰۳	۲۰,۰۰۰	تأمین منابع مالی برای توسعه و نگهداری مترو. مدیریت بهره‌برداری و خدمات مترو.	استفاده از تکنولوژی‌های نوین برای بهبود خدمات. کاهش هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری. بهبود کیفیت حمل‌ونقل عمومی در لندن.
	۲۰۱۰	۱۰,۰۰۰	درآمد از بهره‌برداری مترو. افزایش تقاضا و استفاده از خدمات حمل‌ونقل. دسترسی به بازار حمل‌ونقل عمومی	
سد تری گوریجس در چین	۱۹۹۴	۴۰,۰۰۰	سرمایه‌گذاری در مراحل ساخت و مدیریت پروژه. بهره‌برداری از انرژی تولیدی.	تأمین نیاز انرژی برای میلیون‌ها نفر. کنترل سیلاب‌ها و بهبود شرایط کشاورزی. ظرفیت عظیم ذخیره‌سازی آب.
	۲۰۱۲	۱۵,۰۰۰	بازگشت سرمایه از طریق فروش انرژی و همکاری‌های تجاری. بهره‌برداری از قراردادهای طولانی‌مدت و تأمین انرژی پایدار.	
بزرگراه ۴۰۷ در کانادا	۱۹۹۹	۱,۵۰۰	ساخت و بهره‌برداری از بزرگراه. مدیریت و نگهداری جاده‌ها و زیرساخت‌های آن.	استفاده از سرمایه‌گذاری‌های بخش خصوصی. کاهش ترافیک و تسهیل حمل‌ونقل در بهبود مدیریت ترافیک با استفاده از تکنولوژی.
	۲۰۰۱	۱,۲۰۰	درآمد از عوارض جاده‌ای. درآمد حاصل از قراردادهای بلندمدت بهره‌برداری و نگهداری.	
ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی در هلند	۲۰۱۰	۵۰۰	تأمین و نصب ایستگاه‌های شارژ. مدیریت و نگهداری ایستگاه‌ها.	گسترش سریع ایستگاه‌های شارژ در سطح کشور. کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و حمایت از حمل‌ونقل سبز.
	۲۰۲۰	۳۰۰	درآمد از ارائه خدمات شارژ به خودروهای برقی. افزایش تقاضا برای خودروهای برقی و تسهیل حمل‌ونقل سبز.	

ادامه جدول ۱.

نام پروژه	شروع ساخت	کل سرمایه	نقش بخش خصوصی	دست آوردها
	بهره برداری	جذب سرمایه	منافع بخش خصوصی	
بزرگراه شرق به غرب آمریکا	۱۹۹۸	۱۰,۰۰۰	ساخت و بهره برداری از جاده ها. مدیریت و نگهداری	بهبود مسیرهای حمل و نقل بین شهری. کاهش زمان سفر و افزایش ایمنی جاده ها. کاهش ترافیک در مناطق شهری.
	۲۰۰۵	۵,۰۰۰	درآمد از عوارض جاده ای و خدمات دیگر. کاهش هزینه های حمل و نقل برای بخش خصوصی و تسهیل انتقال کالاها و خدمات.	
ورزشگاه های جام جهانی ۲۰۲۲ در قطر	۲۰۱۶	۸,۰۰۰	طراحی، ساخت و مدیریت ورزشگاه ها. تأمین خدمات زیرساختی و فناوری.	توسعه زیرساخت های ورزشی و ایجاد فرصت های گردشگری. جذب سرمایه گذاری خارجی و حقوق تلویزیونی. سود از فروش بلیت، اجاره و حقوق رسانه ای.
	۲۰۲۲	۴,۰۰۰	جذب سرمایه گذاری خارجی و درآمد از تماشاگران و حقوق تلویزیونی.	
آسمان خراش های برج تجارت جهانی در نیویورک	۲۰۰۱	۴,۰۰۰	ساخت و نوسازی برج ها و مراکز تجاری. مدیریت پروژه های بازسازی.	بازسازی و بهبود وضعیت امنیتی و اقتصادی پس از حملات ۱۱ سپتامبر. همکاری مؤثر بخش عمومی و خصوصی برای بازسازی مناطق آسیب دیده.
	۲۰۱۴	۲,۵۰۰	درآمد از اجاره املاک و خدمات تجاری. ارتقای اعتبار برند و ایجاد فرصت های تجاری جدید در مناطق مختلف.	
پارک های ملی در نیوزیلند	۲۰۰۵	۱۰۰	طراحی و ساخت زیرساخت های توریستی. تأمین خدمات گردشگری و مدیریت منابع طبیعی.	حفظ و توسعه مناطق حفاظت شده و جاذبه های گردشگری. مشارکت فعال بخش خصوصی در مدیریت و نگهداری پارک ها.
	۲۰۱۵	۶۰	درآمد از فروش بلیت و خدمات مرتبط	
گسترش مترو مسکو	۲۰۱۰	۵,۰۰۰	توسعه و گسترش شبکه مترو. مدیریت بهره برداری و نگهداری.	گسترش سریع و به روز سازی شبکه مترو. بهبود حمل و نقل عمومی و کاهش ترافیک در مسکو.
	۲۰۱۹	۲,۵۰۰	درآمد از فروش بلیت و اشتراک ها. بهره برداری از قراردادهای بلندمدت نگهداری و خدمات.	
بزرگراه های آزاد در هند (Expressways in India)	۲۰۰۰	۴,۰۰۰	ساخت و بهره برداری از بزرگراه ها. مدیریت و نگهداری جاده ها.	تسهیل حمل و نقل بین شهری و کاهش ترافیک. حمایت از رشد اقتصادی و افزایش ارتباطات بین المللی.
	۲۰۰۷	۲,۰۰۰	سود از عوارض جاده ای و افزایش ترافیک جاده ای. کاهش هزینه های حمل و نقل و تسهیل تجارت داخلی.	
سیستم مدیریت آب در سنگاپور	۲۰۰۲	۳,۰۰۰	طراحی و ساخت زیرساخت های آب و فاضلاب. مدیریت بهره برداری و خدمات تصفیه آب	بهبود مدیریت منابع آبی و کاهش مصرف آب. استفاده از فناوری های نوین در تصفیه و توزیع
	۲۰۱۲	۱,۵۰۰	درآمد از فروش خدمات تصفیه آب فاضلاب بهبود اعتبار برند و گسترش ظرفیت ها.	
شارژر های سریع خودرو های برقی در آلمان	۲۰۱۵	۲۰۰	تأمین و نصب ایستگاه های شارژ سریع. مدیریت و نگهداری ایستگاه ها.	تسهیل استفاده از خودرو های برقی و کاهش وابستگی به سوخت های فسیلی. گسترش سریع ایستگاه های شارژ در سراسر کشور.
	۲۰۲۰	۱۲۰	درآمد از خدمات شارژ خودرو کمک به توسعه شبکه خودرو های برقی و بهره برداری از روند جهانی به سمت حمل و نقل سبز.	
پروژه انرژی خورشیدی در دبی	۲۰۱۳	۵,۰۰۰	طراحی، ساخت، بهره برداری و مدیریت از پروژه های انرژی خورشیدی	استفاده از انرژی تجدید پذیر و کاهش هزینه ها پایداری محیط زیستی و زیرساخت های انرژی.
	۲۰۲۰	۳,۵۰۰	درآمد از فروش انرژی و قراردادهای بلندمدت تأمین انرژی.	

ادامه جدول ۱.

نام پروژه	شروع ساخت	کل سرمایه	نقش بخش خصوصی	دستاوردها
	بهره‌برداری	جذب سرمایه	منافع بخش خصوصی	
پروژه توسعه کانال سوئز در مصر	۲۰۱۴	۸,۰۰۰	سرمایه‌گذاری و توسعه کانال سوئز. بهره‌برداری و مدیریت ترافیک کانال.	افزایش ظرفیت کانال و تسهیل حمل‌ونقل جذب سرمایه‌گذاری‌های بین‌المللی و توسعه منطقه.
	۲۰۱۶	۴,۰۰۰	حق عبور کشتی‌ها و تجارت بین‌المللی. بهره‌برداری از افزایش ظرفیت حمل‌ونقل دریایی و رشد اقتصادی	
سیستم آب و فاضلاب در تونس	۲۰۱۰	۵۰۰	طراحی و ساخت زیرساخت‌های آب و فاضلاب. مدیریت و نگهداری سیستم‌های توزیع آب و جمع‌آوری فاضلاب.	بهبود کیفیت آب و فاضلاب شهری. گسترش دسترسی به خدمات بهداشتی و محیط زیستی.
	۲۰۱۴	۳۰۰	درآمد از تأمین خدمات آب و فاضلاب به مناطق مختلف. کاهش هزینه‌های انرژی و بهبود وضعیت بهداشتی.	
پروژه بزرگراه‌های آزاد در برزیل	۲۰۰۵	۳,۰۰۰	ساخت و بهره‌برداری از بزرگراه‌ها. مدیریت و نگهداری مسیرها.	توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل برای حمایت از رشد اقتصادی. کاهش ترافیک و بهبود شرایط سفرهای جاده‌ای در کشور.
	۲۰۱۰	۱,۵۰۰	درآمد از عوارض جاده‌ای. تسهیل حمل‌ونقل و کاهش هزینه‌های جاده‌ای	
پروژه مترو در سائو پائولو	۲۰۰۶	۱۰,۰۰۰	طراحی، ساخت و بهره‌برداری از پروژه مترو. مدیریت نگهداری و به‌روزرسانی شبکه مترو.	توسعه و به‌روزرسانی شبکه حمل‌ونقل در سائو پائولو. کاهش ترافیک و تسهیل سفرهای شهری.
	۲۰۱۴	۶,۰۰۰	درآمد از فروش بلیت و اشتراک‌های بلندمدت. سود از همکاری‌های تجاری و ارائه خدمات اضافی به مسافران	

جدول ۲. بررسی نمونه‌های موفق پروژه‌های مشارکت عمومی و خصوصی در ایران [۱۳]

پروژه	منافع تعریف‌شده	بستر قانونی
آزادراه تهران - شمال	بازگشت سرمایه بالا از عوارض تردد فرصت رشد بلندمدت توسعه زیرساخت‌ها و ایجاد اعتبار در پروژه‌های مشابه	قانون مشارکت عمومی و خصوصی (۱۳۹۰) قانون برنامه پنج‌ساله توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی قانون مدیریت حمل‌ونقل و ترافیک
پروژه متروی تهران	سرمایه‌گذاری بلندمدت و پایدار دریافت حمایت‌های عمومی دسترسی به بازار بزرگ مسافران مترو	قانون برنامه پنج‌ساله توسعه قانون استفاده بهینه از منابع انرژی قانون حمایت از حمل‌ونقل ریلی
نیروگاه سیکل ترکیبی توس	درآمد ثابت از فروش برق پایدار بودن بازار انرژی بازدهی بالا و جذب سرمایه برای بخش خصوصی	قانون بهره‌برداری از منابع انرژی قانون حمایت از سرمایه‌گذاری خارجی قانون انرژی‌های تجدیدپذیر
بیمارستان خصوصی شریعتی تهران	درآمد از خدمات درمانی و امکانات بیمارستان فرصت‌های تجاری اضافی اعتبار در صنعت بهداشت و درمان	قانون خدمات بهداشتی و درمانی قانون تأسیس و اداره بیمارستان‌ها و مراکز درمانی قانون خصوصی‌سازی
پروژه تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر	درآمد از فروش برق مشوق‌های مالیاتی و تسهیلات عمومی تصویر مثبت محیط زیستی و ارتقای برند	قانون انرژی‌های تجدیدپذیر (۱۳۸۹) قانون حمایت از سرمایه‌گذاری در پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر قانون سرمایه‌گذاری خارجی
پایانه مسافری جنوب تهران	درآمد از عوارض و خدمات ایجاد مشاغل و توسعه کسب‌وکارهای جانبی حمایت‌های عمومی در تأمین زیرساخت‌ها	قانون حمل‌ونقل مسافر قانون توسعه حمل‌ونقل عمومی قانون برنامه ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی
نیروگاه‌های گازی	درآمد از فروش برق تسهیلات مالی عمومی پایدار و بازدهی بالا در درآمد	قانون مدیریت انرژی و نیروگاه‌های گازی قانون تأسیس و بهره‌برداری از نیروگاه‌های گازی قانون حمایت از سرمایه‌گذاری در بخش انرژی
پایانه‌های مسافری بندر عباس	درآمد از عوارض و خدمات فرصت‌های تجاری اضافی در بندر دسترسی به بازار بزرگ تجاری بین‌المللی	قانون حمل‌ونقل دریایی و بندری قانون حمایت از سرمایه‌گذاری در بندر قانون برنامه ششم توسعه

جدول ۳. بررسی برخی از پروژه های ناموفق و دلایل عدم تحقق (میلیون دلار) [۵]

پروژه	سرمایه گذاری	شروع	توقف	پیشرفت	دلایل عدم تحقق
متروی ریاض	۵,۰۰۰	۲۰۱۴	۲۰۲۰	۷۰٪	مشکلات مدیریتی، تأخیرات اجرایی
حمل و نقل جاده ای فرانسه	۳,۵۰۰	۱۹۹۸	۲۰۰۵	۵۰٪	هزینه های بالا، ضعف در مدیریت
بیمارستان های خصوصی فیلیپین	۱,۳۰۰	۲۰۰۵	۲۰۱۰	۶۰٪	فساد، مشکلات مالی
سد نیل در اتیوپی	۴,۲۰۰	۲۰۰۹	۲۰۱۶	۶۵٪	مشکلات سیاسی، تأمین منابع مالی
آبرسانی بنگلادش	۷۰۰	۲۰۰۸	۲۰۱۳	۴۰٪	مشکلات مالی، فساد
حمل و نقل در آفریقای جنوبی	۲,۵۰۰	۲۰۰۲	۲۰۱۰	۵۵٪	ضعف در نظارت، مشکلات اجرایی
متروی کاکاتا اندونزی	۳,۰۰۰	۲۰۱۰	۲۰۱۵	۷۵٪	مشکلات مالی، اختلافات حقوقی
نیروگاه برق کلمبیا	۱,۵۰۰	۲۰۰۷	۲۰۱۲	۸۰٪	مشکلات ارزیابی ریسک ها
ساخت مترو لاس وگاس	۲,۲۰۰	۲۰۰۶	۲۰۱۱	۵۰٪	مشکلات مالی، کسری بودجه
حمل و نقل در هند	۱,۰۰۰	۲۰۰۳	۲۰۰۸	۶۰٪	فساد، مشکلات مدیریتی
بزرگراه در مکزیک	۲,۸۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۷	۷۰٪	مشکلات حقوقی، عدم همکاری
بهداشت و درمان آفریقا	۱,۱۰۰	۲۰۰۶	۲۰۱۲	۶۵٪	کمبود نظارت، فساد
حمل و نقل شهری در برزیل	۳,۳۰۰	۲۰۰۵	۲۰۱۳	۶۰٪	مشکلات مالی، تأخیر در اجرایی سازی
سد در بنگلادش	۱,۸۰۰	۲۰۱۰	۲۰۱۵	۵۰٪	مشکلات سیاسی، فساد
بزرگراه در ترکیه	۲,۰۰۰	۲۰۰۷	۲۰۱۲	۶۰٪	مشکلات نظارتی، تأخیر در قراردادها
بزرگراه در تانزانیا	۸۰۰	۲۰۰۸	۲۰۱۳	۴۵٪	مشکلات تأمین مالی، ضعف در همکاری
برق در مصر	۲,۰۰۰	۲۰۰۹	۲۰۱۴	۵۰٪	مشکلات ارزیابی ریسک، فشار اقتصادی
بیمارستانی در هند	۱,۵۰۰	۲۰۰۷	۲۰۱۲	۶۰٪	فساد، مشکلات نظارتی
متروی داکا بنگلادش	۱,۲۰۰	۲۰۱۲	۲۰۱۷	۵۵٪	مشکلات مالی، نوسانات اقتصادی

جدول ۴. بررسی برخی پروژه های همراه با تأخیرات در ایران و دلایل آن (میلیارد ریال) [۱۱]

پروژه	سرمایه	شروع	توقف	دلایل توقف
آزادراه تهران - شمال (بخش شمالی)	۴۵۰,۰۰۰	۱۳۹۰	۱۴۰۰	تأخیر در تأمین مالی، مشکلات محیط زیستی، کمبود منابع مالی، تأخیر در تکمیل پروژه و مشکلات بومی و اجتماعی
پروژه متروی اصفهان	۳۰,۰۰۰	۱۳۹۲	۱۳۹۸	مشکلات تأمین مالی، نبود هماهنگی بین سازمان ها، تأخیر در تحویل تجهیزات و مشکلات فنی و اجرایی
نیروگاه سیکل ترکیبی یزد	۵۰,۰۰۰	۱۳۹۵	۱۴۰۲	مشکلات تأمین سوخت، کاهش تقاضای برق در دوران رکود اقتصادی، چالش های قانونی و اداری
بیمارستان خصوصی تهران	۲۰,۰۰۰	۱۳۹۴	۱۴۰۰	مشکلات مالی و بودجه ای، تأخیر در تکمیل پروژه، عدم تأمین زمین مناسب برای ساخت
انرژی های تجدیدپذیر	۳۰,۰۰۰	۱۳۹۶	۱۳۹۹	مشکلات در تأمین منابع مالی، رکود اقتصادی و کاهش تقاضا برای انرژی های تجدیدپذیر، مشکلات قانونی و اداری
پایانه مسافری جنوب تهران	۱۵,۰۰۰	۱۳۹۳	۱۳۹۹	مشکلات تأمین مالی، تأخیر در تکمیل پروژه، نبود هماهنگی بین بخش های مختلف
نیروگاه های گازی	۴۵,۰۰۰	۱۳۹۴	۱۴۰۱	نوسانات قیمت مواد اولیه، تأخیر در صدور مجوزهای قانونی، رکود اقتصادی و کاهش تقاضای انرژی
پایانه های مسافری بندر عباس	۲۵,۰۰۰	۱۳۹۵	۱۴۰۰	مشکلات در تأمین منابع مالی، کاهش تقاضای تجاری، مشکلات فنی و تأخیر در تکمیل پروژه

۴. تحلیل تجربیات

ابتدا بیشتر کشورها بر استفاده صرف از مشارکت عمومی خصوصی تأکید داشتند؛ به این معنا که برای مشارکت یک شرکت یا فرد انتخاب، قرارداد منعقد، پروژه شروع می شد. ولی با توجه به قوانین و مقررات و عدم شفافیت در بسیاری موارد پروژه ها با اختلافات گسترده نیمه تمام راه شد [۱۴]. به عنوان نمونه، در جدول ۳ برخی موارد قابل مشاهده است. دلایل مشترک برای شکست این پروژه ها:

- **ضعف در تقسیم ریسک‌ها:** در بسیاری از این پروژه‌ها، ریسک‌ها به طور نادرستی بین بخش عمومی و خصوصی تقسیم شده بود، بخش خصوصی بار سنگین تری از ریسک‌ها را متحمل شده است.
 - **نظارت ضعیف:** در پروژه‌های ناموفق، نظارت و ارزیابی دقیق پروژه‌ها به‌ویژه از سوی دولت، در بسیاری از موارد کافی نبوده است.
 - **مشکلات مالی و اقتصادی:** در اکثر این پروژه‌ها، مشکلات در تأمین منابع مالی یا نوسانات اقتصادی باعث ایجاد چالش‌هایی در تأمین بودجه و اجرای پروژه‌ها شد.
 - **تاخیرهای مدیریتی:** مشکلات مدیریتی و ناتوانی در پیاده‌سازی مناسب پروژه‌ها باعث تأخیر در بهره‌برداری و افزایش هزینه‌ها شد.
 - **موانع قانونی و فساد:** فساد و مشکلات حقوقی در بعضی از این پروژه‌ها منجر به ناکامی در اجرای آن‌ها شد [۶]. در بررسی دلایل شکست، چالش‌ها و مشکلات مختلفی را می‌توان مشاهده کرد. لذا در بازبینی روش‌های قراردادی و قوانین و مقررات در جهت کاهش ریسک عدم تحقق موضوع استفاده از توان مشارکت جمعی در کنار پروژه‌های مشارکت عمومی و خصوصی مطرح شد. این موضوع ضریب موفقیت را افزایش داد. به این دلیل که نظارت مؤثر عمومی و تقسیم و توزیع ریسک در کنار نظارت همگانی بر بخش عمومی به کاهش احتمال فساد در انتخاب بخش خصوصی منجر شد. همچنین، در تدوین و بازنویسی قوانین و مقررات براساس واژه‌های زیر تعاریف مشخص ارائه شد. لذا قبل از انعقاد قرارداد به طور مشخص برای چالش‌های زیر با توجه به تعریف ارائه‌شده راهکارهای اندیشیده شد [۱۴].
 - **مشکلات مالی:** این واژه نشان‌دهنده ضعف در ارزیابی منابع مالی و مدیریت مالی پروژه‌ها است.
 - **افزایش هزینه‌ها:** این واژه به‌خوبی نشان‌دهنده ناکامی در پیش‌بینی و کنترل هزینه‌ها طی مدت پروژه است.
 - **مشکلات مدیریتی:** این مشکل می‌تواند به دلیل نبود شفافیت یا تضاد منافع میان بخش خصوصی و عمومی باشد.
 - **نارضایتی عمومی:** این واژه به معنای عدم پاسخ‌گویی به نیازهای مردم و کمبود مشارکت عمومی اشاره دارد.
 - **مشکلات حقوقی و نظارتی:** این واژه به فقدان چارچوب‌های حقوقی و نظارتی مناسب اشاره دارد.
 - **اختلافات بین طرفین پروژه:** این واژه نشان‌دهنده تضاد منافع و عدم هماهنگی میان بخش خصوصی و عمومی است که مانع از پیشرفت پروژه‌ها می‌شود.
 - **فساد و عدم شفافیت:** این واژه به طور معمول به سوءاستفاده از منابع عمومی یا ضعف در نظارت بر قراردادهای اشاره دارد.
- در پروژه‌های مشارکت عمومی و خصوصی (PPP) که به مشکلات یا شکست منجر می‌شود، بخش خصوصی با زبان‌های زیادی مواجه می‌شود. این زبان‌ها معمولاً به دلایل مختلفی همچون مشکلات مالی، مدیریتی، سیاسی یا اجرایی به وجود می‌آید. با توجه به قوانین و مقررات بخش عمومی با چالش‌های زیادی جبران زیان‌های بخش خصوصی مواجه است. این موضوع به عدم اعتماد به پروژه‌های عمومی و خصوصی منجر شد [۱۵]. دولت‌ها با توجه به بار مالی، نارضایتی عمومی، فشارهای سیاسی و عدم توجه به رفاه عمومی از جبران کامل زیان سر باز می‌زنند. شرایط اقتصادی و سیاسی کشور و توان مالی نیز بر عدم جبران زیان در پروژه‌های بزرگ و استراتژیک مؤثر است [۱۵].
- در نهایت، این بررسی بیانگر این موضوع است که موفقیت در پروژه‌های PPP به ساختاری فراتر از مشارکت عمومی و خصوصی نیاز دارد. در ساختار جدید باید ارزیابی دقیق‌تر ریسک‌های مالی، شفافیت بیشتر در قراردادهای، مدیریت مؤثرتر، و مشارکت جمعی به طور مؤثر دیده شود. این موضوع همچنین در بازبینی قوانین و مقررات در کشورهای مختلف مورد توجه قرار گرفت. به عنوان نمونه، قوانین زیر در کشورها مبتنی بر استفاده از توان مشارکت جمعی در کنار مشارکت عمومی و خصوصی بازبینی شد [۱۶]:

انگلیس: قانون PFI: دهه ۱۹۹۰ به طور گسترده برای تأمین مالی پروژه های عمومی آغاز شد. این مدل به بخش خصوصی اجازه می دهد تا با سرمایه گذاری در پروژه های زیرساختی مانند بیمارستان ها و مدارس، خدمات را به دولت ارائه دهد. دولت بریتانیا برای نظارت بر این پروژه ها قوانین دقیقی دارد. این قوانین معمولاً شامل ارزیابی های منظم عملکرد و شفافیت در مورد هزینه ها و تأثیرات اجتماعی است [۱۶].

چین: قانون سرمایه گذاری خارجی: به طور گسترده از مدل های PPP برای پروژه های زیرساختی استفاده می کند، اما قوانین سرمایه گذاری خارجی در چین نقش مهمی ایفا می کنند. این کشور معمولاً قراردادهایی با شرکت های عمومی یا خصوصی محلی منعقد می کند [۱۱].

کانادا قانون مشارکت عمومی و خصوصی (PPP Act): کانادا مدل های PPP را تحت قوانین خاص در استان های مختلف از جمله اونتاریو استفاده می کند [۶].

قطر: قانون شرکتهای عمومی خصوصی (PPP Law): که بیشتر به ویژه در پروژه های بزرگ زیربنایی و ورزشی مانند پروژه های جام جهانی ۲۰۲۲ اعمال می شود.

هند: قانونی به نام «قانون همکاری های بخش خصوصی و عمومی» دارد که به توسعه پروژه های زیرساختی در حوزه های مختلف از جمله حمل و نقل، انرژی، آب و فاضلاب کمک می کند.

امارات متحده عربی (دبی، پروژه انرژی خورشیدی): قانون انرژی های تجدیدپذیر: این کشور در زمینه انرژی پروژه های بزرگی با مشارکت بخش خصوصی داشته است.

سنگاپور: قوانین بسیار دقیق و کنترل شده ای برای تأمین مالی پروژه های زیربنایی و حفظ محیط زیست دارد. بخش خصوصی به طور جدی در پروژه های مدیریت منابع آب و انرژی تجدیدپذیر مشارکت دارد و نظارت دقیق دولت موجب موفقیت این پروژه ها شده است.

آلمان: به ویژه در پروژه های مرتبط با انرژی های پاک و حمل و نقل از مدل های PPP بهره می برد. قوانین محیط زیست و انرژی پاک در آلمان نقش مهمی در توسعه این پروژه ها دارند. بخش خصوصی در این پروژه ها معمولاً به دلیل تضمین بازده اقتصادی و کمک های عمومی وارد می شود.

فرانسه: برای پروژه های حمل و نقل عمومی، به ویژه راه آهن های سریع السیر، مدل های PPP را به کار می برد. قوانین حمل و نقل و سیاست های مالیاتی برای جلب سرمایه گذاری خصوصی طراحی شده اند.

بررسی تجربه ایران از منظر ایجاد بستر قانونی موضوع

در ایران قوانین و مقررات خاصی برای مشارکت های عمومی و خصوصی وجود دارد که هدف آن ها، تسهیل همکاری بین بخش عمومی و بخش خصوصی در پروژه های زیرساختی است. این قوانین به ویژه برای بهره برداری از ظرفیت های بخش خصوصی و کاهش فشار مالی بر دولت در اجرای پروژه های بزرگ و زیربنایی طراحی شده اند. در اینجا برخی از مهم ترین قوانین و دستورالعمل های ایران در زمینه PPP آورده شده است:

قانون برنامه پنج ساله ششم توسعه: در این قانون، به مشارکت های عمومی و خصوصی به طور کلی اشاره شده است و بر لزوم بهره گیری از ظرفیت های بخش خصوصی برای کاهش فشار مالی بر دولت در پروژه های زیرساختی تأکید می شود.

قانون استفاده از ظرفیت های بخش غیر عمومی در پروژه های عمرانی: این قانون نیز به طور کلی بیان کرده که دولت می تواند با واگذاری پروژه ها به بخش خصوصی در زمینه های مختلف عمرانی، از ظرفیت های بخش غیر عمومی استفاده کند. در این قانون نیز، جزئیات نحوه مشارکت، ارزیابی منافع و ریسک ها، نحوه واگذاری پروژه ها به بخش خصوصی، و روش های تأمین مالی به طور دقیق مشخص نشده اند و بیشتر به فرایندهای عمومی اشاره دارد. در آیین نامه های اجرایی پروژه های

PPP جزئیات بیشتری در مورد نحوه قراردادهای، مسئولیت‌ها، نحوه تأمین منابع مالی، ارزیابی ریسک‌ها و نحوه نظارت را تعیین می‌کنند، ولی فاقد شفافیت کامل در ارزیابی و تقسیم دقیق مسئولیت‌ها بین بخش‌های عمومی و خصوصی است. این مشکل به اختلاف نظرها و چالش‌های حقوقی زیادی منجر شد.

قانون حمایت از سرمایه‌گذاری خارجی: این قانون برای جذب سرمایه‌گذاران خارجی جزئیات بیشتری دارد و بسیاری از مشکلات حقوقی و مالی را شفاف کرده است، ولی مشکلات زیادی در تعریف تضمین‌های مالی و شرایط قرارداد دارد.

۵. راه‌کار پیشنهادی مشارکت مردمی در کنار مشارکت خصوصی

اگر منظور از بخش خصوصی در پروژه‌های مشارکت عمومی و خصوصی، مشارکت‌های مردمی باشد، این نوع مشارکت به همکاری و تعامل میان دولت و مردم اشاره دارد که در آن مردم (اعم از افراد، گروه‌ها یا سازمان‌ها) به طور مستقیم در تأمین منابع مالی، تصمیم‌گیری یا اجرای پروژه‌ها مشارکت می‌کنند. این نوع مشارکت معمولاً در قالب مشارکت‌های داوطلبانه یا مشارکت‌های جمعی رخ می‌دهد [۱۷]. مشارکت‌های مردمی به معنای فعال بودن و مشارکت مستقیم شهروندان در پروژه‌های عمومی است که می‌تواند شامل مشارکت در تأمین مالی، مشارکت در تصمیم‌گیری‌ها، یا همکاری در فرایند اجرایی باشد. این نوع مشارکت معمولاً هدفش افزایش شمولیت اجتماعی، افزایش رضایت عمومی و تقویت حس مسئولیت‌پذیری در جوامع است [۱۸].

ویژگی‌های مشارکت‌های مردمی

- **مشارکت داوطلبانه:** مردم به طور داوطلبانه منابع خود را (از جمله وقت، مهارت‌ها، یا پول) برای پیشبرد پروژه‌ها تخصیص می‌دهند.
- **شمول اجتماعی:** تلاش برای اینکه همه اقشار جامعه به‌ویژه گروه‌های کم‌درآمد یا محروم بتوانند در فرایند مشارکت کنند.
- **تصمیم‌گیری مشارکتی:** مردم در فرایندهای تصمیم‌گیری دخیل هستند، به طوری که نظرات و خواسته‌های آن‌ها در برنامه‌ریزی‌ها و طراحی پروژه‌ها گنجانده می‌شود.
- **تأمین منابع مالی:** مشارکت مردمی می‌تواند شامل تأمین منابع مالی از طریق کمک‌های مالی، سرمایه‌گذاری‌های جمعی یا خرید سهام‌های خرد در پروژه‌های عمومی باشد [۱۷].

مزایای مشارکت‌های مردمی

- **تقویت حس مالکیت:** وقتی مردم در یک پروژه مشارکت می‌کنند، حس مالکیت و مسئولیت‌پذیری آن‌ها نسبت به آن پروژه افزایش می‌یابد.
- **افزایش شفافیت و مسئولیت‌پذیری:** در پروژه‌های عمومی که مشارکت مردمی وجود دارد، امکان نظارت عمومی بیشتر می‌شود که به شفافیت و کاهش فساد کمک می‌کند.
- **حل مسائل اجتماعی و محیط زیستی:** با توجه به اینکه مردم با محیط و نیازهای خود آشنا هستند، مشارکت‌های مردمی می‌تواند راه‌حلهایی عملی و متناسب با شرایط محلی ارائه دهد.
- **تقویت همبستگی اجتماعی:** مشارکت در پروژه‌ها می‌تواند روابط اجتماعی را تقویت کند و موجب ارتقای همبستگی و اتحاد میان اعضای جامعه شود [۱۸].

به عنوان نمونه، اقدام به مشارکت در پروژه‌های شهری مانند **پروژه‌های بهسازی محلی**، مردم در یک محله برای بهسازی پارک یا ساخت امکانات رفاهی به طور داوطلبانه منابع مالی و فیزیکی اختصاص می‌دهند. **کمک‌های جمعی برای ساخت مدارس و بیمارستان‌ها**، مردم در تأمین منابع مالی برای ساخت یا توسعه مدارس و بیمارستان‌ها مشارکت می‌کنند.

حفاظت از محیط زیست. مشارکت مردمی در پروژه‌های حفاظت از منابع طبیعی مانند درخت‌کاری یا پاکسازی مناطق آسیب‌دیده از آلودگی‌ها بسیار مؤثرتر از ورود صرف بخش خصوصی است، لذا می‌توان گفت که مشارکت مردمی به عنوان یک مدل نوین در پروژه‌های عمومی به‌ویژه در زمینه‌های اجتماعی، زیست‌محیطی و توسعه محلی کاربرد داشته باشد و به عنوان یکی از ابزارهای مؤثر برای تحقق توسعه پایدار و رفع چالش‌های اجتماعی عمل کند.

راهکارهای توسعه مدل حکمرانی شبکه‌ای با سرمایه‌گذاری مردمی

در توسعه شهری، تأمین مالی پروژه‌های زیرساختی و خدمات عمومی معمولاً با محدودیت‌های بودجه‌ای، عدم اعتماد بین بخش‌های دولتی و خصوصی و ضعف در مشارکت مردمی مواجه است [۱۹]. برای حل این چالش، ترکیب سه نظریه حکمرانی مشارکتی، سرمایه اجتماعی و اقتصاد مشارکتی می‌تواند یک مدل راهکار برای توسعه شهری ارائه داد. راه‌کار تلفیقی بر اساس نظریه‌های حکمرانی مشارکتی، سرمایه اجتماعی و اقتصاد مشارکتی در توسعه شهری می‌تواند کاربردی باشد؛ به این دلیل که دولت، بخش خصوصی و شهروندان در تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌ها نقش دارند. اعتماد، شفافیت و شبکه‌های اجتماعی قوی بین ذی‌نفعان وجود دارد. روش تأمین مالی تلفیقی از تأمین مالی جمعی و PPP است. این مدل سه ابزار اصلی دارد. ابزار اول: با ایجاد یک بستر دیجیتال برای مشارکت مردم در تصمیم‌گیری و سرمایه‌گذاری در پروژه‌های شهری امکان ارائه پیشنهادها و رأی‌گیری عمومی درباره اولویت‌های شهری و نظارت آنلاین بر پیشرفت پروژه‌ها برای افزایش شفافیت و اعتماد را ایجاد کرد. ابزار دوم: با ترکیب PPP با تأمین مالی جمعی دولتی و خصوصی، شهروندان می‌توانند سرمایه‌های خرد را به پروژه‌های شهری تزریق کنند. همچنین، دولت با مشوق‌های مالیاتی یا تخفیف‌های خدماتی به مشارکت‌کنندگان پاداش دهد. ابزار سوم: اعتمادسازی و شبکه‌سازی اجتماعی: ایجاد رویدادهای محلی و کارگاه‌های آموزشی برای تقویت ارتباط میان دولت، بخش خصوصی و مردم، استفاده از سفیران اجتماعی^۱ برای تقویت تعامل بین شهروندان و مدیریت شهری و افزایش شفافیت با ارائه گزارش‌های منظم و نظارت عمومی بر پروژه‌ها. به عنوان نمونه، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۲۰]:

- توسعه ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی [۱۳].
دولت با یک شرکت خصوصی قرارداد PPP امضا می‌کند.
سرمایه اولیه توسط دولت و شرکت خصوصی تأمین می‌شود.
شهروندان از طریق تأمین مالی جمعی در پروژه سرمایه‌گذاری کرده و برای استفاده از ایستگاه‌ها تخفیف دریافت می‌کنند.
- بازسازی فضای سبز شهری با مدل مشارکتی
شهروندان در پلتفرم شهروندی بهترین طرح‌ها را پیشنهاد و رأی‌گیری می‌کنند.
دولت و سرمایه‌گذاران خصوصی سرمایه‌گذاری اولیه را انجام می‌دهند.
مردم با کمک‌های خرد مالی و داوطلبی در اجرا مشارکت دارند.
- سیستم حمل‌ونقل هوشمند با مدل مشارکتی [۱۳].
ایجاد سامانه اشتراک‌گذاری دوچرخه یا وسایل نقلیه عمومی از طریق سرمایه‌گذاری جمعی.
می‌توان به عنوان نمونه به سه پروژه موفق که بر اساس این الگو اجرا شده است اشاره کرد.
نظارت عمومی بر قیمت‌گذاری و سیاست‌های حمل‌ونقل برای افزایش شفافیت.
- بزرگراه A86 در فرانسه [۱۵].
این بزرگراه از طریق PPP و سرمایه‌گذاری خصوصی احداث شد.
دولت شرایط ویژه‌ای برای تأمین مالی و کاهش ریسک سرمایه‌گذاران ایجاد کرد.
سرمایه‌گذاران از دریافت عوارض از کاربران سود کسب کردند.

- پل خلیج سانفرانسیسکو – (Bay Bridge) ایالات متحده
تأمین مالی این پروژه از ترکیب منابع عمومی، خصوصی و Crowdfunding انجام شد.
بخشی از هزینه‌ها از طریق اوراق مشارکت ویژه شهروندان تأمین شد.
مشارکت شهروندان باعث افزایش پذیرش اجتماعی و کاهش اعتراضات شد.
- بزرگراه حیدر علی اف – آذربایجان
دولت آذربایجان از طریق همکاری با سرمایه‌گذاران خصوصی و نهادهای مالی بین‌المللی منابع پروژه را تأمین کرد.
اعتمادسازی از طریق شفافیت مالی و مشارکت شهروندان باعث تسریع در اجرای پروژه شد.
این مدل با استفاده از اقتصاد مشارکتی، اعتماد اجتماعی و حکمرانی مشارکتی، به افزایش سرمایه اجتماعی، تسریع توسعه و افزایش عدالت شهری کمک می‌کند [۱۲]. با کاهش وابستگی به منابع دولتی، افزایش اعتماد و پاسخ‌گویی با استفاده از ابزارهای دیجیتال و مدل‌های نوین حکمرانی. افزایش نوآوری و بهره‌وری در پروژه‌های شهری، راه‌کار عملی برای توسعه پایدار شهری ارائه می‌دهد [۱۵].

جدول ۵. مدل‌های مشارکت عمومی [۲۰]

نوع مشارکت	توضیح
مشارکت مالی	تأمین مالی پروژه‌ها از طریق روش‌هایی مانند سرمایه‌گذاری جمعی (Crowdfunding)، انتشار اوراق مشارکت و مدل‌های مشارکت عمومی - خصوصی (PPP).
مشارکت در تصمیم‌گیری	مشاوره عمومی، نظرسنجی‌های مردمی و برگزاری جلسات عمومی.
مشارکت در اجرا	حضور گروه‌های محلی و سازمان‌های غیرعمومی در پیاده‌سازی و بهره‌برداری از پروژه‌ها.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها (چالش‌ها و اصلاحات مورد نیاز در جهت اجرایی شدن موضوع در ایران)

به طور کلی، می‌توان گفت که قوانین و مقررات موجود در ایران به نوعی کلی و عمومی تنظیم شده، ولی برای پیاده‌سازی مؤثر پروژه‌ها به جزئیات و دستورالعمل‌های اجرایی بیشتری نیاز است. برای موفقیت در پیاده‌سازی پروژه‌ها PPP، نیاز به اصلاحات در قوانین و ارائه دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌های شفاف و دقیق وجود دارد تا بخش خصوصی و دولت بتوانند در چارچوبی مشخص و منظم با یکدیگر همکاری کنند و بتوانند از این طریق بستر استفاده از ابزارهای تأمین مالی جمعی فراهم شود: برخی از مشکلات ساختاری قوانین ایران به شرح زیر است:

عدم شفافیت در تقسیم مسئولیت‌ها: یکی از چالش‌های اصلی در اجرا، عدم شفافیت در تقسیم مسئولیت‌ها و تعیین دقیق نقش‌ها و وظایف بخش عمومی و خصوصی است.

فقدان ابزار نظارتی و ارزیابی دقیق: وجود ابزارهای نظارتی و ارزیابی مؤثر برای پروژه‌های PPP، به‌ویژه در زمینه‌های مالی و قانونی، یکی از ضعف‌های قانون‌گذاری است که باید بهبود یابد.

عدم شفافیت در قراردادها: یکی از چالش‌های عمده در پروژه‌های PPP در ایران، نبود شفافیت در قراردادها است که ممکن است به مشکلات حقوقی و فساد در اجرای پروژه‌ها منجر شود.

ریسک‌های مالی و اقتصادی: در بسیاری از پروژه‌ها، تعیین دقیق سهم ریسک بین دولت و بخش خصوصی از چالش‌های مهم است. بخش خصوصی ممکن است در معرض ریسک‌های اقتصادی و مالی قرار گیرد.

تأخیر در اجرای پروژه‌ها: مشکلات مدیریتی و عدم همکاری بین بخش‌های مختلف عمومی و خصوصی می‌تواند موجب تأخیر در پروژه‌ها شود.

همچنین، در نهایت نیاز است که با استفاده از مفهوم مشارکت جمعی در کنار مشارکت عمومی خصوصی فضای اشتراکی در جهت شرکت عمومی شهروندان در پروژه‌های شهری را فراهم کرد. این موضوع نیاز به بستر سازی و آموزش‌های همگانی همچنین تغییر در رویکردهای مدیریت شهری دارد.

منابع

1. Ansell, C., & Gash, A., Collaborative governance in theory and practice. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 2008. 18(4): p. 543–571.
2. Osborne, S.P., *The new public governance? Emerging perspectives on the theory and practice of public governance*. Routledge, 2010.
3. Yescombe, E.R., *Public-private partnerships: Principles of policy and finance*. Elsevier, 2007.
4. Emerson, K., Nabatchi, T., & Balogh, S., An integrative framework for collaborative governance. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 2012. 22(1): p. 1–29.
5. World Bank, *Public-private partnerships for sustainable cities*. World Bank Publications, 2020.
6. Shaheen, S., & Cohen, A., Shared mobility: The potential of ride-sharing and car-sharing for reducing urban congestion. *Transport Reviews*, 2019. 39(3): p. 381–395.
7. Putnam, R.D., *Bowling alone: The collapse and revival of American community*. Simon & Schuster, 2000.
8. Fukuyama, F., *Trust: The social virtues and the creation of prosperity*. Free Press, 1995.
9. Pierre, J., & Peters, B.G., *Governance, politics and the state*. Macmillan, 2000.
10. Bovaird, T., Public-private partnerships: From contested concepts to prevalent practice. *International Review of Administrative Sciences*, 2004. 70(2): p. 199–215.
11. Botsman, R., & Rogers, R., *What's mine is yours: The rise of collaborative consumption*. Harper Business, 2010.
12. OECD, *The innovation imperative in the public sector: Setting an agenda for action*. OECD Publishing, 2015.
13. Government of Iran, *Public-private partnerships in Iran: Legal framework and opportunities (Report No. 45)*. Ministry of Economic Affairs and Finance, 2010.
14. OECD, *Public-private partnerships: A global review (Report No. 123)*. OECD Publishing, 2012. <https://doi.org/10.1787/9789264179241-en>
15. Bennett, R.J., *Network governance and city development: The role of public-private partnerships*. Routledge, 2019.
16. Putnam, R.D., *Making democracy work: Civic traditions in modern Italy*. Princeton University Press, 1993.
17. Huxley, S., & Williamson, R., Community participation in public-private partnerships. In: Lee, D. (Ed.), *Proceedings of the International Urban Development Conference*, 2011. p. 12–23. Wiley.
18. Roberts, A., The role of the private sector in urban development. In: Thomas, J. (Ed.), *Public-private partnerships in urban growth*, 2015. p. 45–67. Springer.
19. Smith, A., The role of public-private partnerships in urban development. *Urban Studies Journal*, 2012. 35(4): p. 45–56. <https://doi.org/10.1080/123456789>
20. World Bank, *Public-private partnerships and infrastructure financing*. World Bank, 2020. <https://www.worldbank.org/ppp-infrastructure>



Determining the Impacts of Household Hazardous Wastes on the Occupational Injuries of working in Municipal by Delphi Method: A Qualitative Study

Houman Gholampour Arbastan^{1*} | Hozhabr Gholampour Arbastan²

1. Corresponding Author, Ph.D. in Environmental Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: H_gholampour@ut.ac.ir

2. Ph.D. Student of Business Administration, Management faculty, Islamic Azad University of Central Tehran Branch, Tehran, Iran. Email: H.Gholampour@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 19 February 2025
Revised 19 March 2025
Accepted 20 April 2025
Published Online 10 May 2025

Keywords:
Household hazardous waste,
Landfills,
Occupational injuries,
Waste management,
Occupational diseases.

ABSTRACT

Workers are exposed to the various compounds of waste and their consequences, in different waste management stages from collection to final disposal. Hazardous characteristics of some kind of household waste may affect occupational injuries in the waste management sector. This study aimed to investigate the occupational injuries of household hazardous wastes on municipal waste landfill workers by the Delphi method. The method used in the present study is classified into descriptive and qualitative categories. In the first step, all the consequences and occupational injuries associated with working in municipal solid waste landfills are extracted by reviewing previous studies. Next, extracted occupational injuries were ranked according to the degree of vulnerability to the presence of household hazardous waste based on the Delphi method. Findings of the present study shows that among 19 occupational injuries related to working in landfills, 6 occupational consequences including workplace accidents, healthcare, work-related illnesses, job stress, premature disability, and work indifference were detected as the most vulnerable to the presence of household hazardous waste. In order to encourage citizens to separate waste at the source of production, steps can be taken to increase public participation in the management of household hazardous waste, by using the capacity of Article (8) of the law and calculating the cost of waste management services based on the PAYT method, as well as attracting public participation by promoting public awareness and culture (taking advantage of the capacity of Articles (6) and (21) of the Waste Management Law).

Cite this article: Gholampour Arbastan, H. & Gholampour Arbastan, H. (2025). Determining the Impacts of Household Hazardous Wastes on the Occupational Injuries of working in Municipal by Delphi Method: A Qualitative Study. *Urban Development Policy Making*, 2 (2), 159-171. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.512943.1022>



© Houman Gholampour Arbastan, Hozhabr Gholampour Arbastan
DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.512943.1022>

Introduction

Workers are exposed to the various compounds of waste and their consequences, in different waste management stages from collection to final disposal. Hazardous characteristics of some kind of household waste may affect occupational injuries in the waste management sector. This study aimed to investigate the occupational injuries of household hazardous wastes on municipal waste landfill workers by the Delphi method.

Material and Methods

The method used in the present study is classified into descriptive and qualitative categories. In the first step, all the consequences and occupational injuries associated with working in municipal solid waste landfills are extracted by reviewing previous studies. Next, extracted occupational injuries were ranked according to the degree of vulnerability to the presence of household hazardous waste based on the Delphi method.

Results

Review of occupational injuries resulting from work in waste management centers showed that employees in this sector are generally exposed to 19 common occupational injuries. These occupational injuries include job dissatisfaction, feelings of insecurity regarding health, frustration, depression, occupational stress, increased accidents due to drowsiness and headaches caused by stress and depression, hopelessness, decreased sense of self-success, decreased efficiency of social performance, environmental irritability, decreased sense of self-confidence, decreased social prestige, decreased tolerance threshold, anger and rage, disinterest in work, burnout including: emotional exhaustion, personal performance and depersonalization, increased related diseases, increased injuries including: cuts, burns and slips, and premature disability. Findings of the present study shows that among 19 occupational injuries related to working in landfills, 6 occupational consequences including workplace accidents, healthcare, work-related illnesses, job stress, premature disability, and work indifference were detected as the most vulnerable to the presence of household hazardous waste.

Discussion and Conclusion

In the present study, by reviewing previous studies, all occupational consequences and injuries associated with working in waste disposal centers were collected, and after conducting 2 rounds of surveys based on the Delphi method, 6 key occupational consequences and injuries that were most affected by the presence of household hazardous waste were counted. The results of the present study show that the lack of separation and segregation of household hazardous waste at source, the lack of a separate collection system, and consequently the management of this category of waste alongside other municipal solid waste, create and exacerbate occupational consequences and injuries of working in waste disposal centers for employees in this field. Based on what was mentioned in the present study, in order to achieve sustainable governance in the field of household hazardous waste management, suggestions are presented in all three areas of legislation, implementation, and supervision of the management of this category of waste in order to reduce occupational injuries to employees of waste disposal centers. In order to encourage citizens to separate waste at the source of production, steps can be taken to increase public participation in the management of household hazardous waste, by using the capacity of Article (8) of the law and calculating the cost of waste management services based on the PAYT method, as well as attracting public participation by promoting public awareness and culture (taking advantage of the capacity of Articles (6) and (21) of the Waste Management Law).



نقش پسماندهای خطرناک خانگی بر پیامدها و آسیب‌های شغلی کار در مراکز دفن پسماند شهری به روش دلفی: یک مطالعه کیفی

هومن غلامپور ارباستان^{۱*} | هژبر غلامپور ارباستان^۲

۱. نویسنده مسئول، دکتری مهندسی محیط زیست، دانشکده‌گان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: H_Gholampour@ut.ac.ir
۲. دانشجوی دکتری مدیریت بازرگانی - گرایش بازاریابی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران. رایانامه: H.Gholampour@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۳۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰

کلیدواژه:

پسماندهای خطرناک خانگی،
مراکز دفن،
آسیب‌های شغلی،
مدیریت پسماند،
بیماری‌های شغلی.

کارکنان بخش مدیریت پسماند در مراحل مختلف این فرایند، از جمع‌آوری تا دفع نهایی در معرض مواجهه با ترکیبات مختلف موجود در پسماندها و آسیب‌های ناشی از آن‌ها قرار دارند. ماهیت خطرناک برخی از انواع پسماندهای تولیدی توسط خانوارها می‌تواند در ایجاد و تشدید آسیب‌های شغلی کارکنان حوزه مدیریت پسماند مؤثر باشد. در این پژوهش در گام نخست، با روش اسنادی و مطالعات کتابخانه‌ای به جمع‌آوری کلیه پیامدها و آسیب‌های شغلی مترتب با دفن پسماندهای شهری روی کارگران و کارکنان مراکز دفن در پژوهش‌های پیشین پرداخته شد. در گام بعدی پیامدها و آسیب‌های شغلی مستخرج به منظور رسیدن به آسیب‌های شغلی با بیشترین تأثیرپذیری از حضور پسماندهای خطرناک خانگی به منظور اجرای تکنیک دلفی در اختیار پنل متخصصان قرار گرفته و آسیب‌های شغلی به ترتیب میزان تأثیرپذیری از پسماندهای خطرناک خانگی رتبه‌بندی شد. پژوهش حاضر نشان می‌دهد از میان ۱۹ آسیب شغلی مترتب با کار در مراکز دفن پسماندهای شهری، ۶ پیامد که مرتبط با نگرانی‌های ناشی از ایجاد جراحات، حوادث و بیماری‌های مرتبط با کار و از کار افتادگی ناشی از آن بوده، بیشترین تأثیرپذیری را از حضور پسماندهای خطرناک خانگی در جریان پسماند شهری دارند. در راستای عبور از شرایط کنونی می‌توان با استفاده از ظرفیت ماده (۸) قانون و محاسبه بهای خدمات مدیریت پسماندها بر اساس روش PAYT و همچنین، جلب مشارکت مردمی با ارتقای آگاهی عمومی و فرهنگسازی (با بهره‌مندی از ظرفیت مواد (۶) و (۲۱) قانون مدیریت پسماندها) در جهت افزایش مشارکت عمومی در مدیریت پسماندهای جزء ویژه پسماند عادی گام برداشت.

استناد: غلامپور ارباستان، هومن و غلامپور ارباستان، هژبر (۱۴۰۴). نقش پسماندهای خطرناک خانگی بر پیامدها و آسیب‌های شغلی کار در مراکز دفن پسماند شهری به روش دلفی: یک مطالعه کیفی. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۲ (۲) ۱۵۹-۱۷۱.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.512943.1022>

© هومن غلامپور ارباستان، هژبر غلامپور ارباستان

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.512943.1022>



۱. مقدمه

بر اساس آخرین گزارش بانک جهانی، با ادامه روند کنونی، میزان تولید پسماندهای جامد شهری در سطح دنیا در سال ۲۰۵۰ به ۳/۴ میلیارد تن در سال خواهد رسید. بر اساس همین گزارش، سرانه تولید پسماند هر ایرانی ۶۰۰ گرم در روز برآورد شده است [۱]. آمار ارائه شده توسط سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور نشان می‌دهد روزانه به طور متوسط ۵۵ هزار تن پسماند عادی در کشور تولید می‌شود. بر اساس این آمار، سرانه تولید پسماند شهری ۷۶۲ گرم در روز و سرانه پسماند تولیدی در روستاها، ۴۸۱ گرم در روز برآورد شده است [۲]. گزارش‌های دریافتی از وزارت کشور نشان می‌دهد حدود ۷۵ درصد پسماند عادی تولیدی در کشور دفن می‌شود. عواقب مدیریت نامناسب پسماندها نظیر مدیریت نامناسب شیرابه، رهاسازی گازهای گلخانه‌ای به جو و نابودی زمین موجب تخریب زیست‌محیطی و تهدیدهای بهداشتی شده که براساس برآورد انجام گرفته توسط سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌ها باعث تحمیل خسارتی حدود ۱۰۷ هزار میلیارد تومان به کشور در سال ۱۴۰۳ شده است. نکته نگران‌کننده دیگر آن است که بر اساس آمار سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌ها نرخ تفکیک پسماند در شهرهای مختلف کشور متفاوت است، ولی میانگین آن به کمتر از ۱۰ درصد (۷ درصد) می‌رسد [۲].

کارگران و کارکنان بخش مدیریت پسماند در مراحل مختلف این فرایند، از جمع‌آوری از مخازن کنار خیابان و نظافت و رفت و روب معابر عمومی گرفته تا فعالیت در ایستگاه‌های انتقال، تفکیک و پردازش پسماندها، سایت تولید کمپوست، بازیافت، زباله‌سوزی و دفن نهایی در معرض مواجهه با ترکیبات مختلف موجود در پسماندها و آسیب‌های ناشی از آن‌ها قرار دارند. به دلیل قرار گرفتن در معرض عوامل خطرآفرین فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و ارگونومیک، شاغلان این حوزه بیش از سایر مشاغل در معرض آسیب‌ها و صدمات شغلی جبران‌ناپذیر قرار دارند [۳].

با توجه به آنچه اشاره شد، در سالیان گذشته مطالعات فراوانی در خصوص آسیب‌های شغلی ایجاد شده برای کارکنان بخش‌های مختلف مدیریت پسماند از جمله پاکبانان [۴]، عوامل غیرمجاز تفکیک پسماند [۵]، کارگران بخش جمع‌آوری [۳، ۶] و [۷]، پردازش و جداسازی پسماند و همچنین کارکنان دفع پسماندهای شهری [۸]، الکترونیک [۹] و [۱۰] و پزشکی [۱۱] در پژوهش‌های داخلی و خارجی صورت پذیرفته است. براساس نتایج پژوهش‌های پیشین، مواجهه کارکنان بخش مدیریت پسماند با عوامل فیزیکی (حرارت، رطوبت، انواع آلاینده‌ها و آلودگی صوتی)، عوامل شیمیایی (مواد قابل اشتعال، اسیدها و بازها)، فاکتورهای زیست‌شناختی (ویروس‌ها، باکتری‌ها و انگل‌ها)، عوامل ارگونومیک (نظیر حرکات مداوم و تکراری و شرایط نامطلوب قرارگیری بدن) و همچنین، حوادثی نظیر سرخوردگی، فرو رفتن جسم نوک‌تیز در بدن و بریدگی قرار دارند [۱۲]. براساس نتایج مطالعات پیشین، کارگران بخش مدیریت پسماند به دلیل مواجهه با مواد خطرناک شیمیایی، با ۵۰ درصد نرخ ابتلای بیشتر به بیماری‌ها و ۶۰۰ درصد نرخ ابتلای بیشتر به بیماری‌های عفونی نسبت به سایر مشاغل، در زمره مشاغل خطرناک طبقه‌بندی می‌شود [۱۳]. براساس پژوهش‌های اپیدمیولوژیکی صورت گرفته، جراحی با سرسرنگ مصرف‌شده احتمال ابتلای شخص به ویروس هپاتیت C، B و ایدز را به ترتیب ۳۰، ۱/۸، و ۰/۳ درصد افزایش می‌دهد [۱۴]. این در حالی است که براساس مطالعات پیشین، ۲۱ درصد پاکبانان حداقل یک بار سابقه جراحی با سرسرنگ‌ها طی عمر کاری خود داشته‌اند [۴]. جراحی‌ها، آسیب‌ها و صدمات شغلی ایجاد شده بین کارکنان و کارگران مراکز دفن، آسیب‌های روانی نظیر افسردگی، سرخوردگی، استرس، عدم خودباوری و سایر عواقبی از این دست را نیز به همراه دارد و باعث بی‌علاقگی به کار و نارضایتی شغلی می‌شود [۱۵].

در میان انواع گوناگون پسماندهای شهری، برخی پسماندها به واسطه داشتن حداقل یکی از ویژگی‌های خطرناکی نظیر سمیت، بیماری‌زایی، قابلیت انفجار، اشتعال و خوردگی طبق قانون مدیریت پسماندها مصوب سال ۱۳۸۳، به دلیل نیاز به رعایت ملاحظات ویژه در مدیریت، به عنوان پسماندهای ویژه نام‌گذاری شده‌اند. براساس قوانین بین‌المللی نظیر آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده نیز پسماندهای خطرناک خانگی به برخی از مواد زائد خانگی که در شرایط خاص ممکن است آتش بگیرند، واکنش نشان دهند یا منفجر شوند، یا خورنده یا سمی باشند، اتلاق می‌شود. بر این اساس، محصولاتمانند رنگ‌ها، پاک‌کننده‌ها، روغن‌ها، باتری‌ها و آفت‌کش‌ها می‌توانند حاوی مواد خطرناکی باشند و هنگام دور ریختن آن‌ها به مراقبت ویژه نیاز دارند. پسماندهای ویژه تولیدی توسط خانوارها که در پژوهش‌های پیشین، پسماندهای خطرناک خانگی نامیده می‌شوند، ۱/۲۲-

۱/۵۸ صد از کل پسماند تولیدی توسط خانوارهای تهرانی را به خود اختصاص می‌دهند و شامل پسماندهای شیمیایی نظیر سموم و آفت‌کش‌ها، رنگ‌ها، حلال‌ها، شوینده‌های با خاصیت اسیدی و بازی، و پسماندهای عفونی و بیولوژیکی هستند. بررسی‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهند در میان پسماندهای خطرناک خانگی تولیدی توسط شهروندان تهرانی به صورت میانگین طی یک سال، شوینده‌های خانگی با خاصیت اسیدی و بازی بالا با ۳۷/۷ درصد، محصولات حفاظت فردی ۲۴/۹ درصد و سایر پسماندهای خطرناک خانگی شامل حلال‌های شیمیایی با ۱۲/۹ درصد سه پسماند خطرناک خانگی بالاترین تناوب تولید را دارند. این پسماندها به دلیل وجود مواد شیمیایی، پسماندهای عفونی و نوک‌تیز می‌توانند خطرات فراوانی را برای مدیریت‌کنندگان آن به‌ویژه کارگرانی که تماس مستقیم با آن‌ها دارند ایجاد کنند. علی‌رغم وجود الزام قانونی مبنی بر رعایت ملاحظات ویژه در مدیریت آن‌ها، پسماندهای خطرناک خانگی بدون انجام هیچ‌گونه جداسازی در مبدأ همانند سایر پسماندهای شهری جمع‌آوری و مدیریت می‌شوند [۱۶]. ماهیت خطرناک این دسته از پسماندها می‌تواند در ایجاد و تشدید آسیب‌های شغلی کارکنان حوزه مدیریت پسماند مؤثر باشد.

علی‌رغم مطالعات فراوان داخلی و خارجی انجام‌گرفته در زمینه آسیب‌های شغلی کار در بخش مدیریت پسماندها، تا کنون در هیچ پژوهشی به تأثیر ترکیب پسماند در پیامدها و آسیب‌های شغلی کار در مراکز دفن پسماند پرداخته نشده است. در سالیان اخیر با افزایش توجهات و نگرانی‌ها دربارهٔ دفن هم‌زمان پسماندهای خطرناک خانگی در کنار سایر پسماندهای جامد شهری و اثرات زیست‌محیطی [۱۷] و اقتصادی آن پژوهش‌هایی در سایر کشورها در این زمینه انجام گرفته، که این مطالعات در داخل کشور، فقط به تعیین ترکیب و میزان تولید این دسته از پسماندها خلاصه شده است [۱۸-۲۰]. هدف اصلی پژوهش حاضر، بررسی نقش و تأثیر حضور پسماندهای خطرناک خانگی روی آسیب‌های جسمی و روانی و تأثیرات آن بر عملکرد شغلی و احساس کارکنان این حوزه به شغل خود است. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند به افزایش توجهات به الزام تفکیک پسماندهای خطرناک خانگی در مبدأ تولید به منظور کاهش آسیب شغلی کارکنان حوزه مدیریت پسماند کمک شایانی کند.

۲. روش‌شناسی

روش مورد استفاده در پژوهش حاضر از لحاظ ماهیت در دسته توصیفی و کیفی طبقه‌بندی می‌شود. در گام نخست، این مطالعه با الگوبرداری از مطالعه پیشین [۲۱]، با روش اسنادی و مطالعات کتابخانه‌ای به جمع‌آوری کلیه پیامدها و آسیب‌های شغلی مرتبط با دفن پسماندهای شهری روی کارگران و کارکنان مراکز دفن در پژوهش‌ها، کتاب‌ها و مقالات داخلی و بین‌المللی پرداخته شد. در این بخش به دلیل پیچیدگی، دو رویکرد پیش روی پژوهشگران، مطالعه حاضر بوده است. رویکرد نخست مصاحبه میدانی و توزیع پرسشنامه بین کارگران و کارکنان شاغل در بخش دفن پسماندها در مرکز پردازش و دفع آرادکوه است و رویکرد دوم، استفاده از روش دلفی با بهره‌گیری از نظرات پندل متخصصانی که در بخش‌های مرتبط با دفن پسماندهای شهری مسئولیت داشته و تحصیلات خود را در رشته‌های مرتبط انجام داده‌اند، است. بخش اعظم کارگران شاغل در مرکز دفن مجموعه پردازش و دفع آرادکوه اتباع پاکستانی و افغانه بوده که قسمت اعظم آن‌ها به زبان فارسی تسلط کافی ندارند و همچنین اکثر آن‌ها به صورت مقطعی در این مرکز مشغول کار هستند و ممکن است پس از مدت کوتاهی شغل خود را تغییر دهند. با توجه به آنچه به آن اشاره شد، به دلیل عدم آشنایی بسیاری از کارگران با زبان فارسی و همچنین، مدت زمان کوتاه فعالیت کارگران در این مرکز، مصاحبه و توزیع پرسشنامه در بین افراد از دستورکار خارج و رویکرد دوم یعنی استفاده از نظرات پندل خبرگانی با بهره‌گیری از فرایند همزادپنداری و جمع‌بندی و اجماع نظرات بر اساس روش دلفی در دستور کار پژوهش حاضر به منظور ارزیابی پیامدهای اجتماعی حضور پسماندهای خطرناک خانگی بر کارگران و کارکنان مرکز دفن قرار گرفت. بی‌شک، کار در مراکز مدیریت پسماند با سختی‌های مختلفی همراه است، اما وجود پسماندهای خطرناک در جریان پسماندهای شهری می‌تواند بر معضلات کار در این مراکز بیفزاید. بنابراین، نتایج این پژوهش می‌تواند به تبیین نقش کلیدی تفکیک پسماندهای خطرناک خانگی بر کاهش بیماری‌ها و آسیب‌های شغلی کار در مراکز مدیریت پسماندهای شهری کمک کرده و سبب افزایش توجه

مدیران، تصمیم‌گیران و عامه مردم به اجرایی‌سازی این مهم در کشور شود. نتایج این پژوهش می‌تواند نشان دهد در صورت عدم تفکیک در ادامه به ارائه توضیحاتی در خصوص روش دلفی پرداخته خواهد شد.

۲-۱. روش دلفی

در پژوهش‌های گوناگون، رویکردهای و تکنیک‌های مختلفی در زمینه مطالعات کیفی مورد استفاده قرار گرفته که یکی از تکنیک‌ها، روش دلفی است. خلق و ترویج روش دلفی، در راستای گسترش فعالیت‌های آینده‌پژوهی فناوری‌ها که در سال ۱۹۴۴ میلادی آغاز شد، صورت پذیرفت [۲۲]. ایده روش دلفی برای نخستین بار در مقاله‌ای تحت عنوان «نظریه فلسفی دانش در علوم نادقیق» توسط هلمر^۱ و رشر^۲ در سال ۱۹۵۹ میلادی مطرح شد [۲۳]. بنا به تعریف دلفی، روش یا رویکردی سیستماتیک در تحقیق برای جمع‌آوری نظرات گروهی از خبرگان و متخصصان در زمینه یک موضوع و یا یک سؤال بوده [۲۴] که در شرایطی که عدم کفایت علمی وجود دارد، دلفی با استفاده از ادراکات مستقیم و یا نظر خبرگان به حل مسئله کمک می‌کند [۲۵]. از شرایطی نظیر نیاز به قضاوت خبرگان و نظرات جمع‌کثیر، اجماع گروهی در رسیدن به نتیجه نهایی، وجود مشکل بین رشته‌ای پیچیده و بزرگ، ناکافی بودن دانش، امکان دسترسی به خبرگان متخصص و شرایطی شبیه آن، به عنوان شرایط کاربرد روش دلفی نام برده می‌شود. با توجه به وجود شرایط استفاده از روش دلفی، این روش به عنوان روش پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲. پنل متخصصان

در مطالعه حاضر چهار ویژگی اصلی تخصص و تجربه، علاقه‌مندی و تمایل، داشتن وقت و زمان کافی برای شرکت در کلیه دورها و داشتن مهارت‌های ارتباطی مؤثر، معیار انتخاب متخصصان بوده است. با توجه به آنکه در مقالات و پژوهش‌های پیشین بین ۱۰ تا ۲۰ نفر را به عنوان تعداد متخصصان در پنل خبرگانی در نظر گرفته‌اند [۲۲، ۲۴، ۲۶ و ۲۷]. در پژوهش حاضر با استفاده از نمونه‌گیری غیر احتمالی^۳ به روش قضاوتی^۴ نسبت به انتخاب ۱۱ خبره در رشته‌هایی نظیر بهداشت محیط، محیط زیست، طب کار، HSE، بهداشت حرفه‌ای و ارزیابی ریسک سلامت که علاوه بر رشته مرتبط با موضوع پژوهش، سابقه فعالیت، مسئولیت و حتی جراحت و آسیب‌دیدگی در مرکز دفن مجموعه پردازش و دفع آرادکوه را نیز داشته‌اند، اقدام شد. سطح تحصیلات افراد حاضر در پنل متخصصین پژوهش حاضر شامل ۲ نفر کارشناسی، ۳ نفر کارشناسی ارشد و ۶ نفر دیگر مقطع دکتری است.

۲-۳. مطالعات کتابخانه‌ای

به منظور جمع‌آوری پیامدها و اثرات اجتماعی مراکز دفن پسماند روی ساکنان اطراف این محل‌ها، با جست‌وجوی واژگان کلیدی نظیر بیماری‌های ناشی از کار، فرسودگی شغلی، استرس شغلی، حوادث محل کار، مدیریت پسماند، دفن پسماند در مقالات فارسی و Occupational injuries، Work-related illnesses، Workplace injuries، Waste management sector workers و Waste workers، در پایگاه‌های مقالات علمی نظیر Elsevier، Science Direct، Google Scholar اقدام به جمع‌بندی مطالب مرتبط در مطالعات کتابخانه‌ای شد.

۲-۴. هماهنگی با اعضای پنل به منظور شروع پژوهش

پس از انتخاب افراد ذی‌صلاح به عنوان اعضای پنل متخصصان، با انجام گفت‌وگو با هریک از اعضا به صورت جداگانه به تشریح صورت مسئله در خصوص نقش حضور پسماندهای خطرناک خانگی در ایجاد و یا تشدید بیماری‌ها و یا آسیب‌های شغلی کارگران و کارکنان مراکز دفن پسماند شهری پرداخته شد. پس از انجام هماهنگی‌های اولیه تهیه پرسشنامه در دستور کار پژوهش حاضر قرار گرفت.

1. Helmer
2. Rescher
3. Non-probability Sampling
4. Judgmental Sampling

۲-۵. تهیه پرسشنامه

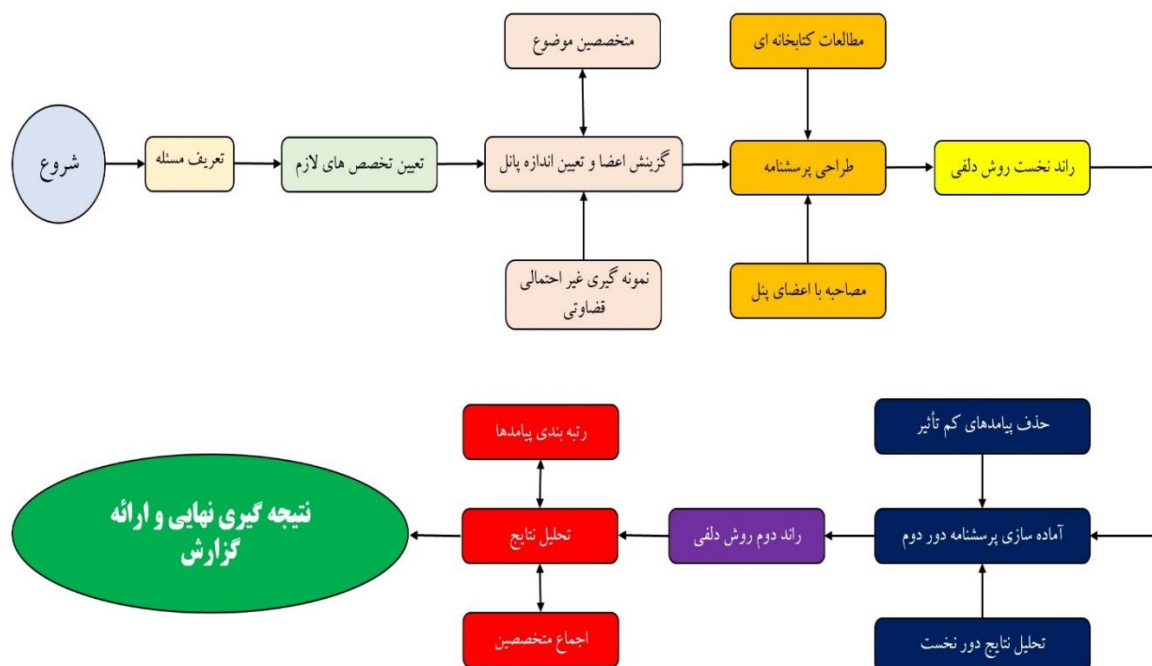
پیش از انجام هر دور از روش دلفی، با ارسال پیامدهای اجتماعی و آسیب‌های شغلی مستخرج از مطالعات کتابخانه‌ای برای هریک از اعضای پنل از آن‌ها خواسته شد تا اگر پیامد یا آسیب‌های شغلی دیگری در خصوص کار در مراکز دفن پسماند، به ذهنشان می‌رسد که در اثرات مستخرج از مطالعات کتابخانه‌ای به آن اشاره نشده است، ذکر کرده و برای پژوهشگران مطالعه حاضر ارسال کنند. پس از جمع‌آوری و استفاده از نظر متخصصان پرسشنامه مورد استفاده در انجام هر دور از روش دلفی تهیه و تنظیم شد.

۲-۶. دور نخست اجرای روش دلفی

با ارسال پرسشنامه طراحی شده در فاز پیشین برای هریک از اعضای پنل، از آن‌ها خواسته شد تا در پرسشنامه ارسالی با توجه به تأثیرگذاری پسماندهای خطرناک خانگی بر هریک از پیامدها و آسیب‌های شغلی کار در مراکز دفن پسماند، در طیف لیکرت نمره‌ای را از ۱ تا ۵ به هریک از پیامدها تخصیص دهند. به بیانی دیگر، بر اساس نظر هریک از خبرگان در صورتی که تأثیر حضور پسماندهای خطرناک خانگی در جریان پسماند شهری بر تشدید و ایجاد پیامدها و آسیب‌های شغلی کار در مراکز دفن پسماند، بسیار زیاد بوده نمره ۵ و اگر این تأثیر بسیار ناچیز بوده نمره ۱ اختصاص یافت.

۲-۷. دور دوم اجرای روش دلفی

در دور دوم، پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌های مرحله پیشین، پیامدهایی که میانگین نمرات آن‌ها بزرگ‌تر و مساوی ۴ بود (یعنی تأثیر حضور پسماندهای خطرناک خانگی بر ایجاد و تشدید آسیب‌های شغلی و پیامدهایی که از دیدگاه پنل متخصصان زیاد و بسیار زیاد تلقی شده بود) در پرسشنامه باقی ماند و سایر پیامدها و آسیب‌های شغلی از این پرسشنامه حذف شد. پرسشنامه اصلاح شده برای نمره‌دهی مجدد و رتبه‌بندی نهایی در اختیار اعضای پنل قرار گرفته و از آن‌ها خواسته شد که بار دیگر با علم به پاسخ‌های دور دوم، رأی خود را نسبت به میزان تأثیرگذاری حضور پسماندهای خطرناک خانگی بر هریک از پیامدها و آسیب‌های شغلی را اعلام کنند. در شکل ۱ روند مورد استفاده در پژوهش حاضر قابل مشاهده است.



شکل ۱. روند مورد استفاده در انجام پژوهش حاضر

۳. نتایج

در این بخش به ارائه نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر در به صورت گام به گام پرداخته می شود.

۳-۱. مطالعات کتابخانه‌ای

در جدول ۱، کلیه پیامدهای و آسیب‌های شغلی که در پژوهش‌های داخلی و خارجی به عنوان اثرات شغلی کار در مراکز دفن پسماند، به آن‌ها اشاره شده، قابل مشاهده است.

جدول ۱. پیامدها و آسیب‌های شغلی کار در مراکز دفن پسماند در پژوهش‌های پیشین

ردیف	پیامدها و آسیب‌های شغلی	منبع
۱	نارضایتی شغلی	
۲	احساس ناامنی در خصوص سلامت خود	[۲۹]
۳	سرخوردگی	
۴	افسردگی	
۵	استرس شغلی	
۶	افزایش حوادث به دلیل خواب آلودگی و سردرد ناشی از استرس و افسردگی	[۶]
۷	احساس ناامیدی	
۸	کاهش احساس خودکامیابی	
۹	کاهش راندمان عملکرد اجتماعی	
۱۰	تحریک‌پذیری محیطی	
۱۱	کاهش احساس خودباوری	
۱۲	کاهش پرستیژ اجتماعی	[۱۶]
۱۳	کاهش آستانه تحمل	
۱۴	خشم و عصبانیت	
۱۵	بی‌علاقگی نسبت به کار	
۱۶	فرسودگی شغلی شامل: خستگی عاطفی، عملکرد شخصی و مسخ شخصیت	
۱۷	افزایش بیماری‌های مرتبط	[۱۶، ۳۰]
۱۸	افزایش جراحات‌ها شامل: بریدگی، سوختگی و لیز خوردن	[۷]
۱۹	از کار افتادگی زودرس	[۸]

۳-۲. تهیه پرسشنامه

پس از ارائه توضیحات به اعضای پنل تخصصی، پیش‌نویس اولیه پرسشنامه متشکل از نتایج به دست آمده از مطالعات کتابخانه برای هریک از اعضا ارسال شد و از آن‌ها درخواست شد در صورت نیاز پیامدها و موارد دیگری را به اثرات مستخرج اضافه کنند. پس از جمع‌آوری نظرات خبرگان پیامد و آسیب‌های شغلی دیگری به موارد مستخرج از مطالعات کتابخانه‌ای اضافه نشد و پرسشنامه بدون انجام اصلاحات در اختیار پنل متخصصان برای نمره‌دهی و انجام دوره‌های روش دلفی قرار گرفت.

۳-۳. دور نخست روش دلفی

در دور نخست پژوهش حاضر پرسشنامه تهیه شده برای نمره‌دهی به میزان تأثیر پسماندهای خطرناک خانگی بر هریک از پیامدها و آسیب‌های شغلی بر کارکنان مراکز دفن پسماند در اختیار پنل متخصصان قرار گرفت. نتایج به دست آمده از نظرات پنل متخصصان در جدول ۲ قابل مشاهده است.

همان‌گونه که در جدول ۲ قابل مشاهده است، پیامد و آسیب‌های شغلی کار در مراکز دفن پسماند، بر مبنای تأثیرپذیری از حضور پسماندهای خطرناک خانگی و براساس نظرات پنل متخصصان به صورت نزولی مرتب شده‌اند. بر اساس رتبه‌بندی دور نخست دلفی، وجود پسماندهای خطرناک خانگی بیشترین تأثیرگذاری را بر افزایش جراحاتی نظیر بریدگی، سوختگی و لیز

خوردن و احساس ناامنی در خصوص سلامت خود را داشته و کمترین تأثیرگذاری را بر کاهش احساس خودکامیابی در بین کارکنان مراکز دفن پسماند خواهد داشت.

جدول ۲. نظرات پنل متخصصان در خصوص تأثیرگذاری پسماندهای خطرناک خانگی بر آسیب‌های شغلی کار در مراکز دفن - دور نخست دلفی

ردیف	پیامد و تأثیر شغلی	رتبه	ردیف	پیامد و تأثیر شغلی	میانگین نمرات	رتبه
۱	افزایش جراحتهای (بریدگی، سوختگی و لیز خوردن)	۱	۱۱	تحریک‌پذیری محیطی	۴/۶۴	۱۰
۲	احساس ناامنی در خصوص سلامت خود	۲	۱۲	کاهش آستانه تحمل	۴/۲۷	۱۰
۳	افزایش بیماری‌های مرتبط	۲	۱۳	خشم و عصبانیت	۴/۲۷	۱۰
۴	بی‌علاقگی نسبت به کار	۴	۱۴	کاهش راندمان عملکرد اجتماعی	۴/۱۸	۱۴
۵	از کار افتادگی زودرس	۵	۱۵	افزایش حوادث به دلیل خواب‌آلودگی و سردرد ناشی از استرس و افسردگی	۴/۰۹	۱۵
۶	استرس شغلی	۵	۱۶	افسردگی	۴/۰۹	۱۶
۷	فرسودگی شغلی	۷	۱۷	کاهش احساس خودباوری	۳/۹۱	۱۶
۸	نارضایتی شغلی	۸	۱۸	احساس ناامیدی	۳/۸۲	۱۸
۹	کاهش پرستیژ اجتماعی	۹	۱۹	کاهش احساس خودکامیابی	۳/۵۵	۱۹
۱۰	سرخورده‌گی	۱۰			۳/۳۶	

۳-۴. دور دوم روش دلفی

در دور دوم استفاده از روش دلفی در پژوهش حاضر با حفظ پیامدها و آسیب‌های شغلی که حائز نمراتی بزرگ‌تر و مساوی ۴ (دارای تأثیرپذیری زیاد و بسیار زیاد از حضور پسماندهای خطرناک خانگی) شده بودند و حذف سایر پیامدها، نظرسنجی از پنل خبرگانی صورت پذیرفت. پرسشنامه دور دوم با ۶ تأثیر شغلی از ۱۹ پیامد و تأثیر شغلی اولیه، به رأی پنل متخصصان قرار گرفت که در جدول ۳ نتایج آن قابل مشاهده است.

جدول ۳. رتبه‌بندی تأثیرگذاری پسماندهای خطرناک خانگی بر پیامدها و آسیب‌های شغلی کار در مراکز دفن پسماند

ردیف	پیامد و آسیب‌های شغلی	رتبه
۱	افزایش جراحتهای (بریدگی، سوختگی و لیز خوردن)	۱
۲	احساس ناامنی در خصوص سلامت خود	۲
۳	افزایش بیماری‌های مرتبط	۳
۴	استرس شغلی	۴
۵	از کار افتادگی زودرس	۵
۶	بی‌علاقگی نسبت به کار	۶

همان‌گونه که مشاهده شد، طی ۲ دور انجام روش دلفی پیامدها و آسیب‌های شغلی مترتب با کار در مراکز دفن بر حسب میزان تأثیرپذیری از حضور پسماندهای خطرناک خانگی به از ۱۹ پیامد به ۶ تأثیر شغلی تقلیل یافت که در ادامه به تحلیل و بررسی نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر پرداخته می‌شود.

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد بر اساس نظرات متخصصان، حالت‌ها و مشکلات روحی ایجادشده در کارکنان مراکز دفن کمترین تأثیرپذیری را از حضور پسماندهای خطرناک خانگی دارند. با توجه به آنچه گفته شد، وجود پسماندهای خطرناک خانگی علی‌رغم افزایش مشکلات روحی و ایجاد آسیب روانی نظیر افسردگی، سرخورده‌گی، کاهش خود باوری، کاهش حس خودکامیابی

و ... برای کارگران این حوزه، در مقابل معضلات و مشکلات پیش روی این افراد از تأثیرگذاری کمتری برخوردار است. بر همین اساس، پیامدهای ۱۹ گانه اولیه با توجه به نظر اعضای پنل به ۶ پیامد و تأثیر شغلی کاهش یافت که بخش اعظم پیامدهای حذف شده مربوط به آسیب‌های روحی و روانی کار در مراکز دفن پسماند است.

بخش دوم پیامدها و اثرات شغلی مستخرج از پژوهش‌های پیشین به آسیب‌های جسمی و از کار افتادگی‌های ناشی از آن ارتباط دارد. پسماندهای خطرناک خانگی علی‌رغم سرانه تولید اندک در قیاس با کل جریان پسماند شهری در تهران (۱/۲۲-۱/۵۸ درصد وزنی [۳۱]) به دلیل قرارگیری پسماندهایی نظیر داروها، پسماندهای عفونی و بیولوژیکی، باتری‌ها و لامپ‌های کم‌مصرف، مواد مصرفی در تعمیرات منزل و خودرو، شویندهای خانگی و محصولات حفاظت فردی که همگی منشأ آلاینده‌های بیولوژیکی - عفونی، آلی، غیرآلی و فلزات سنگین هستند، می‌تواند عامل ایجاد آسیب‌های حاد و یا مزمن جسمی و از کار افتادگی موقت و یا دائم کارکنان مشغول به کار در این حوزه شود. نتایج پژوهش‌های پیشین گویای این واقعیت است که کارگران شاغل در مراکز دفن پسماند با بیماری‌های حاد تنفسی و برخی از سرطان‌ها به واسطه استنشاق گازهایی نظیر ترکیبات BTEX، ترکیبات آلی فرار، جیوه و همچنین گرد و غبار ایجاد شده هنگام دفن پسماند، سوختگی، جراحت و قرار گرفتن در معرض انفجار هنگام عملیات دفن [۶ و ۷] و بیماری‌هایی واگیردار و ویروسی نظیر کووید ۱۹ [۳۱] قرار دارند. با توجه به ماهیت سمی، اشتعال‌زایی، قابلیت انفجار، خوردگی و واکنش‌پذیری بالای پسماندهای خطرناک خانگی، وجود این دسته از پسماندها در جریان پسماندهای شهری، تشدید آسیب‌های شغلی یادشده را به همراه خواهد داشت.

در مصاحبه‌های انجام گرفته با برخی کارگران و سرکارگران شاغل در مرکز دفن مجتمع پردازش و دفع آرادکوه مشخص شد که بزرگ‌ترین دغدغه افراد شاغل در این بخش، عدم از کار افتادگی و اجبار به دوری از کار به واسطه حادثه‌دیدگی و آسیب‌دیدگی است. کارگران این حوزه، به دلیل وضعیت آسفبار معیشتی و اقتصادی، نیاز مبرم به کار روزانه دارند. بنابراین، همان‌طور که نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر نشان می‌دهد، حضور پسماندهای خطرناک خانگی علاوه بر آنکه باعث ایجاد و تشدید آسیب‌های جسمی نظیر جراحت‌ها، بیماری‌های مرتبط شغلی و به تبع آن، از کار افتادگی زودرس می‌شود، به دلیل ایجاد از کار افتادگی‌های موقتی و یا دائم، باعث ایجاد ترس و استرس در خصوص آینده شغلی و سلامت خود در بین کارگران شاغل در بخش دفن پسماندها نیز می‌شود. علاوه بر آنچه اشاره شد، در صورت ایجاد آسیب و امراض شغلی در بین کارکنان و کارگران حوزه مدیریت پسماند شهری به واسطه عدم تفکیک پسماندهای خطرناک خانگی فقط محدود به افراد این حوزه نمی‌شود و تبعات اجتماعی در مقیاس عمومی خواهد داشت. به طور مثال، در صورت ابتلای شاغلان این حوزه به بیماری‌های واگیر، امکان انتقال آن به سایر افراد جامعه و همچنین، شیوع بیماری‌های خاص وجود خواهد داشت. در نمونه‌ای دیگر، ایجاد معلولیت و یا از کار افتادگی کارگران بخش مدیریت پسماندهای شهری می‌تواند سبب افزایش تکدی‌گری در شهرها و یا افزایش جرم‌هایی نظیر سرقت شود.

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در پژوهش حاضر با بررسی مطالعات پیشین اقدام به جمع‌آوری کلیه پیامدها و آسیب‌های شغلی مترتب با کار در مراکز دفن پسماند شد و پس از انجام ۲ دور نظرسنجی بر اساس روش دلفی، ۶ پیامد و آسیب شغلی کلیدی که بیشترین تأثیرپذیری را از حضور پسماندهای خطرناک خانگی داشته‌اند، احصا شد. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد عدم تفکیک و جداسازی پسماندهای خطرناک خانگی در مبدأ، نبود سیستم جمع‌آوری مجزا و به تبع آن، مدیریت این دسته از پسماندها در کنار سایر پسماندهای جامد شهری، ایجاد و تشدید پیامدها و آسیب‌های شغلی کار در مراکز دفن پسماند را برای کارکنان این حوزه به همراه دارد. براساس آنچه در پژوهش حاضر اشاره شد، به منظور حکمرانی پایدار در حوزه مدیریت پسماندهای خطرناک خانگی، پیشنهادهایی در هر سه زمینه قانون‌گذاری، اجرا و نظارت بر مدیریت این دسته از پسماندها به منظور کاهش آسیب‌های شغلی به کارکنان مراکز دفن پسماند ارائه می‌شود.

با توجه به تدوین و ابلاغ شیونامهٔ دخیره‌سازی و جمع‌آوری جزء ویژهٔ پسماندهای عادی در سال ۱۴۰۳، توسط سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های وزارت کشور، چارچوب تقنینی مدیریت بهینهٔ پسماندهای جزء ویژهٔ پسماند عادی پس از ۲۰ سال از تصویب قانون مدیریت پسماندها ایجاد شد. در این شیوه‌نامه ضمن تعیین روش‌های اصولی مدیریت هریک از اقلام پسماندهای جزء ویژهٔ پسماند عادی، استفاده از ظرفیت بخش خصوصی و همچنین، ارتقای فرایند نظارت سازمان حفاظت محیط زیست بر مدیریت این دسته از پسماندها از طریق سامانهٔ جامع مدیریت پسماندها که لازم است براساس جزء (۳) بند «چ» مادهٔ (۲۲) قانون برنامهٔ هفتم پیشرفت تا انتهای سال ۱۴۰۳ ارتقا یابد، نیز مورد تأکید قرار گرفته است. علاوه بر این، مدیریت پسماندهای جزء ویژهٔ پسماند عادی به‌شدت و بسیار بیش از پسماند عادی مخلوط به همکاری و بهره‌مندی از ظرفیت مشارکت مردمی وابسته است. بر این اساس، در راستای تشویق شهروندان به تفکیک پسماندها در مبدأ تولید می‌توان با استفاده از ظرفیت مادهٔ (۸) قانون و محاسبهٔ بهای خدمات مدیریت پسماندها بر اساس روش PAYT و همچنین، جلب مشارکت مردمی با ارتقای آگاهی عمومی و فرهنگ‌سازی (با بهره‌مندی از ظرفیت مواد (۶) و (۲۱) قانون مدیریت پسماندها) در جهت افزایش مشارکت عمومی در مدیریت پسماندهای جزء ویژهٔ پسماند عادی گام برداشت [۳۲]. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در آیندهٔ نزدیک موارد ذیل پیاده‌سازی شود:

۱. ایجاد زیرساخت‌های اجرایی لازم توسط مدیریت اجرایی پسماندهای عادی در کشور به منظور آموزش و فرهنگ‌سازی، جمع‌آوری مجزا، تهیهٔ بانک اطلاعاتی و ثبت آن در سامانهٔ جامع محیط زیست و همچنین، مدیریت بهینهٔ پسماندهای جزء ویژهٔ پسماند عادی در کشور؛
۲. نظارت بر حسن اجرای وظایف شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور در خصوص مدیریت پسماندهای جزء ویژهٔ پسماندهای عادی توسط سازمان حفاظت محیط زیست و
۳. استقرار امتداد مسئولیت تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و واردکنندگان پسماندها با رفع ایرادها، تناقض‌ها و نواقص قانونی توسط مجلس شورای اسلامی.

منابع

1. Kaza S, Yao LC, Bhada-Tata P, Van Woerden F. *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050.*; 2018. doi:10.1596/978-1-4648-1329-0
2. Iran's Municipalities and Village Administrations Organization (IMO), 1403. [Persian]
3. Kiani Manesh K, Jafari M. Survey and ranking of work-related diseases in municipal waste collection workers (case study of Shahin Shahr municipality workers, Isfahan province): 9th National Conference on Environment, Energy and Sustainable Natural Resources. ; 2018. [Persian]
4. Mashashaei P, Nazari J, Alizadeh SHA. Investigating the safety and health status of street sweepers in Tabriz city (case study). *Occupational Health and Safety.* 2017;7(3):203-218. [Persian]
5. Aribigbola A. Theoretical and Empirical Researches in Urban Management. *Anul.* 2008;3(9).
6. Ephraim P, Stephens JK, Myers-Hansen GA, et al. Prevalence and Determinants of Occupational Injuries among Solid Waste Collectors of Zoomlion Ghana Limited. *Journal of Environmental and Public Health.* 2021;2021. doi:10.1155/2021/6914529
7. Jeong BY, Lee S, Lee JD. Workplace Accidents and Work-related Illnesses of Household Waste Collectors. *Safety and Health at Work.* 2016;7(2):138-142. doi:10.1016/j.shaw.2015.11.008
8. Searl A, Crawford J. Review of Health Risks for workers in the Waste and Recycling Industry Report prepared by : Alison Searl BSc (Hons) PhD MEnvS Joanne Crawford BSc (Hons) PhD MSc (chapter 10) Date of report : 18 th May 2012 IOM contract no : 611-00491 Contents. 2012;(May).
9. Mashaoufi M, Refahi S. Investigating health problems among workers employed in the informal sector of electronic waste recycling. In: 11th National Conference on Occupational Health and Safety. ; 2019. [Persian]
10. Burns KN, Sayler SK, Neitzel RL. Stress, health, noise exposures, and injuries among electronic waste recycling workers in Ghana. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology.* 2019;14(1):1-11. doi:10.1186/s12995-018-0222-9
11. Blenkarn JI, Odd C. Sharps injuries in healthcare waste handlers. *Annals of Occupational Hygiene.* 2008;52(4):281-286. doi:10.1093/annhyg/men010
12. Raghmi S, Bahrami A, Jahangiri M, et al. Generalities of Occupational Health. Shiraz University of Medical Sciences; 2021. [Persian]
13. Brun EA for S and H at work E. *Expert Forecast on Emerging Chemical Risks Related to Occupational Safety and Health.*; 2009.
14. Mokhtari M, Shahbazi H, Zarei S, Shariati A, Khalil Tahmasebi A. Awareness of medical staff in Yazd hospitals about hospital waste management in 2011. *Scientific Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences.* 2013;12(2):137-148. [Persian]
15. Alinejad H, Tabatabaei S, Dana T. The relationship between blood lead concentration and stress and burnout among employees of a battery manufacturing plant in Tehran. *Quarterly Journal of Environmental Science and Technology.* 2019;21(2):23-36. [Persian]
16. Gholampour Arbastan H, Gitipour S. Evaluating the consequences of household hazardous waste diversion on public health and ecological risks of leachate exposure. *International Journal of Environmental Science and Technology.* 2022;5(0123456789). doi:10.1007/s13762-022-04063-5
17. Zarezadeh E, Ataei Azimi M, Rezakazemi M, Roudbari A. Effect of Removal of Household Hazardous Wastes on Leachate Toxicity Based on Toxicity Characteristic Leaching Procedure. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste.* 2020;24(4):04020050. doi:10.1061/(asce)hz.2153-5515.0000549
18. Amouei A, Hoseini R, Asgharnia H, Fallah H, Faraji H, Aghalari Z. Investigation of Household Hazardous Wastes Production in the Amirkola Township, Iran, in 2012-2013. *Iranian Journal of Health Sciences.* 2014;2(3):8-14.
19. Pourzamani H, Rohollah F, Heidari Z, et al. *Comparative Analysis of Household Hazardous Waste in Different Seasons of Year (Case Study).* Vol 8.; 2019. <http://jhygiene.muq.ac.ir>
20. Ziaee S, Omrani G, Makie Ale Agha M, Mansouri N. Qualitative and Quantitative Examination of Household Hazardous Waste in Tehran. *Advances in Environmental Biology.* 2012;6(2):676-683.

21. Azadarmaki T, Mobaraki M, Shahbazi Z. Investigating and identifying applied indicators of social development (using the Delphi technique). *Socio-Cultural Development Studies*. 2012;1(1):7-30. [Persian]
22. Ahmadi N. Introduction and Criticism of the Delphi Method. *Book of the Month (Social Sciences)*. 2009;(22):95-108. [Persian]
23. Helmer O, Rescher N. On the Epistemology of the Inexact Sciences. *Management Science*. 1959;6(1):25-52. doi:10.1287/mnsc.6.1.25
24. Ahmadi. Fadlallah, Nasiriani K., Abazari P. Delphi technique: a tool in research. *Journal of Education in Medical Sciences*. 2008;8(1):175-185. [Persian]
25. Shia A, Daneshpour S, Rousta M. Developing a model of spatial indicators of social sustainability using the Delphi method and Shannon technique. *Armanshahr Architecture and Urbanism*. 2017;10(19):119-129. [Persian]
26. Ali Doosti S. Delphi Method: Basics, Steps and Examples of Application. *Scientific and Promotional Quarterly Journal of Management and Development*. 2006;8(31):8-23. [Persian]
27. Sanganeh R. Analysis of obstacles to monitoring and inspection of Iranian border units using the Delphi method. *Quarterly Journal of Monitoring and Inspection*. 2019;(50):85-116. [Persian]
28. Nadi M, Yarmohammadian M, Azizi H. The relationship between informal learning, burnout, mental health and job satisfaction among workers of Isfahan Steel Joint Stock Company. *Production and Operations Management*. 2013;4(2). [Persian]
29. Decharat S. Heavy Metals Exposure and Hygienic Behaviors of Workers in Sanitary Landfill Areas in Southern Thailand. *Scientifica (Cairo)*. 2016;2016:0-9. doi:10.1155/2016/9269210
30. Gholampour Arbastan H, Gitipour S. Investigation of Seasonal Variation Effects on Household Hazardous Waste Composition and Generation Rate in Tehran and Proposing Environmental Solutions to Prevent and Reduce. *Journal of Environmental studies*. 2020;46(1):83-96. doi:10.22059/JES.2020.79329
31. Das AK, Islam MN, Billah MM, Sarker A. COVID-19 pandemic and healthcare solid waste management strategy – A mini-review. *Science of the Total Environment*. 2021;778:146220. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.146220
32. Gholampour Arbastan. Houman, Rezaei. Masoud. Household Hazardous Waste management neglected sector of normal waste management in the country. 2023. Iranian Parliament Research's Center. [Persian]



Multi-Criteria Decision Making for Selecting the Optimal Urban Waste Management Method Using Analytic Hierarchy Process

Asma Fayazi¹ | Reza Fallah² | Sara Mahmoudian Younesi³ | Majid Zandi^{4*}

1. Undergraduate student, Department of Renewable Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: Asmafayaazi@gmail.com
2. Master of Science student, Department of Energy Conversion Engineering, Faculty of Mechanical and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: Rez.fallah@mail.sbu.ac.ir
3. Phd student, Department of Renewable Energy Engineering, Faculty of Energy, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: s_mahmoodian@sbu.ac.ir
4. Corresponding Author, Associate Professor, Department of Renewable Energy Engineering, Faculty of Energy, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: m_zandi@sbu.ac.ir

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 01 February 2025
Revised 15 March 2025
Accepted 05 April 2025
Published Online 10 May 2025

Keywords:
Urban waste management,
Analytic Hierarchy Process,
Multi-Criteria Decision Making,
Recycling,
Anaerobic Digestion.

Municipal solid waste management has become one of the major challenges in modern cities due to the rapid increase in waste generation and the limitation of natural resources. Selecting an optimal waste management method requires the consideration of environmental, economic, technical, and social criteria to not only minimize negative environmental impacts but also make the best use of available resources. In this study, various waste management methods including pyrolysis, recycling, composting, anaerobic digestion, incineration, and refuse-derived fuel were evaluated and prioritized using the Analytic Hierarchy Process (AHP). The evaluation criteria included investment cost, environmental pollution, resource availability, required technical expertise, social acceptance, energy consumption, and process efficiency. The weights of criteria and alternatives were determined based on expert opinions. Criteria where lower values indicate higher desirability were inverted within the software to ensure consistency in the evaluation. The results of this study indicate that sustainable and cost-effective methods such as recycling (score: 0.0982) and anaerobic digestion (score: 0.0879), due to their ability to generate valuable products, reduce pollution, and offer economic benefits, are more suitable for urban waste management compared to costly and polluting methods such as incineration and pyrolysis. Furthermore, the findings suggest that combining different methods and adopting integrated approaches can enhance the effectiveness of waste management systems and contribute to achieving sustainability goals.

Cite this article: Fayazi, A.; Fallah, R.; Mahmoudian Younesi, S. & Zandi, M. (2025). Multi-Criteria Decision Making for Selecting the Optimal Urban Waste Management Method Using Analytic Hierarchy Process. *Urban Development Policy Making*, 2 (2), 173-188. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.513772.1026>



© Asma Fayazi, Reza Fallah, Sara Mahmoudian Younesi, Majid Zandi
DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.513772.1026>

1. Introduction

The increasing volume of urban waste, driven by economic growth and urbanization, has posed significant challenges for waste management systems. The selection of an optimal waste management strategy is a complex decision-making process due to the multiplicity of available methods and the necessity of considering various environmental, economic, social, and technical criteria. This study employs the AHP to systematically identify and prioritize key criteria influencing urban waste management. By integrating a comparative assessment of different waste management techniques, this

research aims to establish a comprehensive and scientifically grounded framework for optimizing waste management strategies. Through an extensive review of previous studies and empirical data analysis, this study underscores the efficacy of AHP as a robust decision-support tool in this domain. The findings provide valuable insights for policymakers, urban planners, and researchers in formulating efficient and sustainable waste management policies.

2. Methodology

Urban waste management is a complex multi-criteria decision-making (MCDM) problem involving diverse stakeholders. The Analytic Hierarchy Process is used to evaluate six waste management technologies across seven criteria: energy consumption, process efficiency, required expertise, resource accessibility, investment cost, and environmental impact. The decision process is structured hierarchically using Super Decisions software, where expert panels conduct pairwise comparisons based on Saaty's 1-9 scale. Consistency ratios (CR) below 0.1 ensure judgment reliability. Criteria such as investment cost and pollution levels are inversely weighted for consistency. The final ranking is determined by aggregating criteria weights and scores. The evaluation framework categorizes criteria into technical, economic, social, and environmental groups. Technical aspects include energy consumption, efficiency, and required expertise. Economic factors consider resource accessibility and investment costs, while environmental criteria focus on pollution levels. Social factors include public acceptance and regulatory compliance, ensuring a comprehensive sustainability assessment.

3. Results and Discussion

The analysis reveals that recycling and anaerobic digestion are the most effective waste management strategies due to their lower costs, environmental benefits, and resource recovery potential. In contrast, incineration and pyrolysis, despite their energy generation capabilities, are less favorable due to high operational costs and emissions. A comparative assessment of six waste management methods—recycling, anaerobic digestion, composting, incineration, refuse-derived fuel, and pyrolysis—using eight evaluation criteria highlights the superiority of recycling, which achieved the highest ranking, followed by anaerobic digestion and composting. Incineration, refuse-derived fuel, and pyrolysis ranked lower due to economic and environmental concerns. These findings emphasize the importance of an integrated approach that combines multiple methods to enhance sustainability, reduce landfill dependency, and optimize waste-to-energy processes.

4. Conclusion

This study systematically evaluated and prioritized six urban waste management methods—pyrolysis, recycling, composting, anaerobic digestion, incineration, and refuse-derived fuel—using the Analytic Hierarchy Process (AHP) framework. The findings demonstrate that recycling and anaerobic digestion are the most favorable options due to their lower financial burdens, reduced environmental footprint, and higher societal acceptance. Conversely, methods such as incineration and pyrolysis were found to be less desirable due to their high capital requirements, dependency on specialized labor, and significant pollution levels. Based on these insights, this study advocates for increased investments in recycling infrastructure and the promotion of waste segregation at the source, which are crucial for fostering sustainable and efficient urban waste management practices.



تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب روش بهینه مدیریت پسماند شهری با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی

اسما فیاضی^۱ | رضا فلاح^۲ | سارا محمودیان یونسی^۳ | مجید زندی^{۴*}

۱. دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران. رایانامه: Asmafayaaazi@gmail.com
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تبدیل انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران. رایانامه: Rez.fallah@mail.sbu.ac.ir
۳. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکده انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران. رایانامه: s_mahmoodian@sbu.ac.ir
۴. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکده انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران. رایانامه: m_zandi@sbu.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰

کلیدواژه:

مدیریت پسماند شهری،

تحلیل سلسله‌مراتبی،

تصمیم‌گیری چندمعیاره،

بازیافت،

هضم بی‌هوازی.

امروزه، مدیریت پسماند شهری به دلیل افزایش روزافزون تولید پسماند و محدودیت منابع طبیعی به یکی از چالش‌های اساسی شهرهای مدرن تبدیل شده است. انتخاب نوعی روش بهینه برای مدیریت پسماند نیازمند در نظر گرفتن معیارهای زیست‌محیطی، اقتصادی، فنی و اجتماعی است تا علاوه بر کاهش اثرهای منفی بر محیط زیست، از منابع موجود به بهترین شکل استفاده شود. در این پژوهش، با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی، روش‌های مختلف مدیریت پسماند شامل پیرولیز، بازیافت، کمپوست‌سازی، هضم بی‌هوازی، سوزاندن و تبدیل به سوخت مشتق‌شده مورد ارزیابی و اولویت‌بندی قرار گرفته‌اند. معیارهای ارزیابی شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری، آلاینده‌های زیست‌محیطی، دسترسی به منابع، نیاز به نیروی متخصص، پذیرش اجتماعی، مصرف انرژی و کارایی فرایند هستند. برای تعیین وزن معیارها و گزینه‌ها، از نظرهای خبرگان استفاده شده است. معیارهایی که مقدار کمتر آن‌ها نشان‌دهنده مطلوبیت بالاتر بود، در نرم‌افزار به صورت معکوس در نظر گرفته شدند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد روش‌های پایدار و کم‌هزینه مانند بازیافت با امتیاز ۰/۰۹۸۲ و هضم بی‌هوازی با امتیاز ۰/۰۸۷۹ به دلیل تولید محصول‌های ارزشمند، کاهش آلودگی و بهره‌وری اقتصادی، نسبت به روش‌های پرهزینه و آلاینده مانند سوزاندن و پیرولیز به منظور مدیریت پسماند شهری مناسب‌تر هستند. علاوه بر این، یافته‌ها نشان می‌دهند ترکیب روش‌های مختلف و استفاده از رویکردهای یکپارچه می‌تواند اثربخشی سامانه مدیریت پسماند را بهبود بخشد و در دستیابی به اهداف پایداری مؤثر باشد.

استناد: فیاضی، اسما؛ فلاح، رضا؛ محمودیان یونسی، سارا و زندی، مجید (۱۴۰۴). تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب روش بهینه مدیریت پسماند شهری با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۲ (۳) ۱۷۳-۱۸۸.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.513772.1026>

© اسما فیاضی، رضا فلاح، سارا محمودیان یونسی، مجید زندی

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.513772.1026>



۱. مقدمه

امروزه، تولید پسماند در سراسر جهان به دلیل توسعه سریع اقتصادی و شهرنشینی به سرعت افزایش یافته است. طبق گزارش بانک جهانی، تا سال ۲۰۵۰ میلادی، تولید پسماند شهری تا ۷۰ درصد افزایش خواهد یافت [۱]. رشد جمعیت، تغییر سبک زندگی، و مصرف‌گرایی فزاینده، حجم پسماندهای شهری را به طور چشم‌گیری بالا برده و مدیریت کارآمد پسماند شهری را به یکی از چالش‌های اساسی جوامع مدرن تبدیل کرده است. عدم مدیریت صحیح پسماندها می‌تواند به آلودگی محیط زیست، تهدید سلامت عمومی، اتلاف منابع طبیعی و آثار منفی بر تغییر اقلیم منجر شود. از این‌رو، انتخاب روش مناسب برای مدیریت پسماند شهری اهمیت ویژه‌ای دارد. تصمیم‌گیری در مورد انتخاب روش مناسب برای مدیریت پسماند شهری نوعی چالش اساسی در برنامه‌ریزی شهری و توسعه پایدار است. با توجه به اینکه روش‌های مختلفی مانند تبدیل پسماند به انرژی، بازیافت، سوزاندن، دفن بهداشتی، کمپوست‌سازی و سایر روش‌ها برای این منظور وجود دارد، انتخاب بهترین گزینه نیازمند یک تحلیل علمی است که بتواند ابعاد مختلف این روش‌ها را به طور هم‌زمان ارزیابی کند. هر روش ویژگی‌های خاصی از نظر میزان آلاینده‌ها، هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، پیچیدگی فنی، پذیرش اجتماعی و آثار زیست‌محیطی دارد. بنابراین، برای دستیابی به یک تصمیم بهینه، باید معیارهای متعددی در نظر گرفته شوند و گزینه‌های مختلف براساس این معیارها مقایسه شوند.

مطالعه‌های این حوزه نشان داده‌اند بسته به ویژگی‌های پسماند و شرایط محلی، انتخاب فناوری‌ها متفاوت است. به عنوان نمونه، در داکا، بنگلادش، گازسازی پلاسما به دلیل پردازش پسماندهای تفکیک‌نشده و تولید گاز سنتزی باکیفیت، بهینه‌ترین گزینه شناخته شده است [۲]. در حالی که در احمدآباد، هند، به دلیل رطوبت بالای پسماندهای شهری، احتراق کنترل‌شده مناسب‌ترین راه‌کار ارزیابی شده است [۳]. در کشورهای اروپایی نیز ترکیبی از هضم بی‌هوازی و سوخت مشتق‌شده از پسماند برای افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش آلودگی مورد استفاده قرار گرفته است [۴].

در سال‌های اخیر، روش تحلیل سلسله‌مراتبی به عنوان یکی از ابزارهای پرکاربرد در ارزیابی و اولویت‌بندی گزینه‌های مدیریت پسماند در پژوهش‌های داخلی و خارجی مورد استفاده قرار گرفته است. کرباتووا و ابو قدیس در [۵] به بررسی گزینه‌های مختلف تولید انرژی از پسماند در مسکو به عنوان یک کلان‌شهر پرداخته‌اند. آن‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی^۱ چهار فناوری تولید انرژی از پسماند که شامل تولید گاز دفن^۲، هضم بی‌هوازی^۳، سوزاندن^۴ و سوخت مشتق‌شده از پسماند^۵ را ارزیابی کردند. بررسی‌ها نشان داد تولید گاز دفن بهترین گزینه برای منطقه مسکو است، در حالی که هضم بی‌هوازی و سوزاندن به ترتیب در اولویت دوم و سوم قرار گرفتند. تحلیل حساسیت نشان داد معیارهای زیست‌محیطی و فنی بیشترین تأثیر را در انتخاب فناوری دارند.

مجتبی و همکاران از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره^۶ شامل منطق فازی^۷، تحلیل سلسله‌مراتبی، تاپسیس^۸ و روش سازمان رتبه‌بندی ترجیحی^۹ برای ارزیابی سناریوهای مدیریت پسماند شهری در لاهور پاکستان استفاده کردند [۶]. آن‌ها ده سناریو را براساس هفت معیار و هشت روش، ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که ترکیب هضم بی‌هوازی، گازسازی و دفن پسماند بهینه‌ترین راه‌کار برای پایداری زیست‌محیطی و مدیریت پسماند شهری است. قاضی و همکاران نیز از تحلیل سلسله‌مراتبی برای اولویت‌بندی فناوری‌های تبدیل پسماند به انرژی در عمان استفاده کردند و هضم بی‌هوازی را به عنوان مناسب‌ترین فناوری‌ها برای این منطقه معرفی کردند [۷]. تخمیر^{۱۰} و سوزاندن نیز پس از هضم بی‌هوازی انتخاب شدند. معیارهای اصلی این مطالعه شامل معیارهای زیست‌محیطی و اقتصادی بودند.

1. Analytic hierarchy process (AHP)

2. Landfill biogas

3. Anaerobic digestion

4. Incineration

5. Refuse derived fuel (RDF)

6. Multiple Criteria Decision Making (MCDM)

7. Fuzzy logic

8. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

9. Preference ranking organization method for enrichment evaluation (PROMETHEE)

10. Fermentation

خشنود و همکاران از روش تحلیل سلسله‌مراتبی برای ارزیابی مدیریت پسماندهای ساختمانی در تهران استفاده کردند [۸]. آن‌ها چهار روش دفن، بازیافت، استفاده مجدد و کاهش در مبدأ را با توجه به شانزده معیار مختلف که در چهار دسته زیست‌محیطی، اجتماعی، فنی و اقتصادی قرار داشتند، بررسی کردند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد کاهش پسماند در مبدأ دارای اولویت بالاتری است، در حالی که دفن پسماند کمترین اولویت را دارد. روپانی و همکاران با بررسی وضعیت فعلی مدیریت پسماند شهری تهران، تفکیک نامناسب، وجود فلزهای سنگین و پسماندهای خطرناک را به عنوان چالش‌های مدیریت پسماند شهر تهران شناسایی کردند [۹]. این چالش‌ها، موجب کاهش کیفیت کمپوست تولیدی نیز می‌شود. بررسی تحول‌های مدیریت پسماند در آسیا طی پنج دهه اخیر نشان می‌دهد کمپوست‌سازی در آسیا محبوبیت کمتری دارد، در حالی که تبدیل پسماند به انرژی در برخی کشورها مانند چین، تایلند و مالزی به تدریج در حال افزایش است. سایر چالش‌های مدیریت پسماند شامل عدم تفکیک در مبدأ، ضعف در قانون‌ها و کمبود مشارکت عمومی است [۱۰].

آزاهاری و همکاران در پژوهشی در ایالت کلانتان مالزی، سه گزینه کمپوست‌سازی، بازیافت و ترکیب این دو را با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی ارزیابی کردند و نشان دادند گزینه ترکیبی با وزن نهایی ۴۹ درصد مناسب‌ترین گزینه برای نهادهای آموزشی این منطقه انتخاب شد [۱۱]. این پژوهش نشان داد حتی در محیط‌های دارای محدودیت نیز می‌توان با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله‌مراتبی، تصمیم‌گیری دقیق و مبتنی بر شواهد را در حوزه مدیریت پسماند اجرایی کرد. در پژوهش دمیرجان و یتیلیمسوی از رویکرد ترکیبی روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و تاپسیس فازی برای ارزیابی چهار راهبرد هوشمند مدیریت پسماند استفاده شد [۱۲]. این پژوهش با بهره‌گیری از نظرهای متخصصان پانزده معیار را مورد بررسی قرار داد و نشان داد معیارهایی مانند کاهش آلاینده‌های هوا، امکان‌پذیری عملیاتی و هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه بیشترین وزن را در انتخاب گزینه‌ها دارند. در پژوهش دیگری به بررسی کاربرد روش تحلیل سلسله‌مراتبی در ارزیابی روش‌های جمع‌آوری و حمل‌ونقل پسماندهای جامد در شهر ویساکاپاتنام هند پرداخته شده است [۱۳]. این پژوهش با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی دوازده معیار را برای مقایسه چهار روش مختلف جمع‌آوری و حمل‌ونقل پسماند مورد بررسی قرار داده است. نتایج این پژوهش نشان داد روش جمع‌آوری با کامیون‌های فشرده با امتیاز ۳۳/۸۹ درصد به عنوان بهترین گزینه انتخاب شد. پژوهش دیگری در نپال، نشان داد بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله‌مراتبی برای اولویت‌بندی ریسک‌ها و روش‌های اجرایی در پروژه‌های مشارکت عمومی - خصوصی می‌تواند به طور معناداری به تصمیم‌سازی بهتر منجر شود [۱۴].

در پژوهش دیگری، به بررسی استراتژی‌های بهینه تبدیل پسماند به انرژی در ایران با استفاده از تحلیل سوات، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و نظریه بازی‌ها پرداخته شده است [۱۵]. این پژوهش با ارزیابی قوت‌ها، ضعف‌ها، فرصت‌ها و تهدیدها، به شناسایی مؤثرترین استراتژی‌ها در زمینه پسماند به انرژی کمک کرده و با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و نظریه بازی‌ها، ترکیب بهینه‌ای از استراتژی‌ها را تعیین کرده است. این مطالعه نشان می‌دهد ترکیب راهبردهای مختلف مانند دفن بهداشتی با جمع‌آوری گاز، توسعه نیروگاه‌های پسماندسوز و بازیافت منابع از طریق سوخت مشتق‌شده از پسماند می‌تواند به پایداری زیست‌محیطی و بهبود سامانه‌های مدیریت پسماند کمک کند.

مطالعه‌های موجود نشان دادند پویایی تصمیم‌گیری در مدیریت پسماند شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این زمینه، بهینه‌سازی چرخه عمر به عنوان رویکردی مؤثر برای دستیابی به مدیریت پایدار پسماند مطرح شده است. در پژوهشی، روش بهینه‌سازی چرخه عمر با ترکیب ارزیابی چرخه عمر و بهینه‌سازی چندهدفه به منظور شناسایی پیکربندی‌های بهینه سامانه‌های مدیریت پسماند به کار گرفته شده است [۱۶]. این مطالعه با در نظر گرفتن هدف‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی، به شناسایی راهکارهای بهینه پرداخته و نشان داده است بیشتر پژوهش‌ها بر بهینه‌سازی هم‌زمان اهداف زیست‌محیطی و اقتصادی متمرکز هستند، در حالی که اثرهای اجتماعی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. همچنین، اهمیت استفاده از مدل‌های پویا و در نظر گرفتن عدم قطعیت در بهینه‌سازی چرخه عمر به عنوان عاملی کلیدی در تصمیم‌گیری مؤثر بیان شده است.

از سوی دیگر، در حوزه مدیریت پسماند، مدل‌های تحلیل جریان مواد مانند تحلیل جریان مواد^۱ و تحلیل جریان مواد خاص^۲

به عنوان ابزارهای علمی برای بررسی ورودی و خروجی مواد در سامانه‌های مشخص به کار می‌روند. این مدل‌ها امکان شناسایی مراحل کلیدی در چرخه مواد و انرژی را فراهم کرده و به سیاست‌گذاران در اتخاذ تصمیم‌های پایدار کمک می‌کنند. در روش تحلیل جریان مواد، ابتدا داده‌های مربوط به نوع و مقدار مواد ورودی، استفاده شده و خروجی از سامانه جمع‌آوری می‌شود. سپس، جریان‌های مواد کمی‌سازی شده و ذخایر مواد در سامانه تحلیل می‌شود تا مشکل‌ها و نقطه‌های گلوگاهی شناسایی شوند. در نهایت، نتیجه‌ها به کمک نمودارهای گرافیکی مانند نمودار سانکی نمایش داده می‌شوند. در روش تحلیل جریان مواد خاص، تمرکز بر پایش و ردیابی حرکت و ذخایر مواد شیمیایی خاص در سامانه‌های مختلف مانند صنایع، منطقه‌های شهری و چرخه‌های زیست‌محیطی است. این روش به شناسایی منابع، مسیرها و محل‌های دفع نهایی مواد خطرناک کمک می‌کند. مطالعه‌های مختلف نشان داده‌اند ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری مانند تحلیل سلسله‌مراتبی با مدل‌های تحلیل جریان مواد و تحلیل جریان مواد خاص می‌تواند به بهینه‌سازی سامانه‌های زیست‌محیطی کمک کند. در این راستا، پژوهش‌های مختلفی انجام شده است، از جمله مطالعه‌ای که به بررسی تبدیل پسماندهای غیرقابل بازیافت به سوخت‌های جایگزین از طریق فرایندهای پیرولیز و گازی‌سازی پرداخته است. این مطالعه نشان داده است این روش‌ها می‌توانند ضمن کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، ارزش اقتصادی پسماندها را افزایش دهند [۱۷ و ۱۸]. همچنین، پژوهش‌هایی در زمینه مدل‌سازی و تحلیل تصمیم‌گیری برای مدیریت بهینه پسماند انجام شده که به سیاست‌گذاران در طراحی سامانه‌های بازیافت کارآمدتر کمک کرده است [۱۸].

ولاچوکستاس و همکاران به بررسی روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در استراتژی‌های مدیریت تبدیل پسماند به انرژی پرداخته‌اند [۱۹]. در این مطالعه مروری، ۱۵۳ مقاله منتشر شده تجزیه و تحلیل شده و نشان داده شده که روش تحلیل سلسله‌مراتبی پرکاربردترین روش تصمیم‌گیری چندمعیاره بوده که در ۶۲ مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین، در پژوهش دیگری، تحلیل علم‌سنجی^۱ از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدیریت پسماند با استفاده از پایگاه اسکوپوس^۲ انجام داده است [۲۰]. در این مطالعه ۲۱۶ مقاله منتشر شده بین سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ میلادی بررسی شده است. در این مطالعه نیز نشان داده شده که روش تحلیل سلسله‌مراتبی پرکاربردترین تکنیک در تصمیم‌گیری چندمعیاره بوده و در ۴۷ درصد از مطالعه‌ها استفاده شده است. بیشترین پژوهش‌ها در این حوزه را هند، ایران، چین و ترکیه داشته‌اند.

رویکردهای علمی و سیاست‌گذاری در حوزه مدیریت پسماند شهری همیشه هم‌راستا نبوده‌اند. در این زمینه، مطالعه‌ای به مقایسه اولویت‌های علمی و سیاست‌گذاری در مدیریت پسماند شهری پرداخته و نشان داده که تمرکز علمی، بیشتر روی جنبه‌های فنی و زیست‌محیطی است، در حالی که سیاست‌گذاران بیشتر به ملاحظه‌های اقتصادی و اجتماعی توجه دارند. این عدم تطابق میان اولویت‌ها می‌تواند به چالش‌هایی در اجرای سیاست‌های مدیریت پسماند منجر شود [۲۱].

طبق بررسی‌های انجام شده، یکی از روش‌های مناسب برای تصمیم‌گیری در بررسی‌های موجود، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است. این روش امکان مقایسه زوجی گزینه‌ها، تعیین وزن نسبی معیارها، و رتبه‌بندی نهایی روش‌های مدیریت پسماند را فراهم می‌کند. همچنین، این روش با ایجاد یک ساختار سلسله‌مراتبی از مسئله مورد بررسی، امکان مشارکت کارشناسان و تصمیم‌گیران را در ارزیابی گزینه‌ها افزایش می‌دهد و دقت انتخاب را بهبود می‌بخشد.

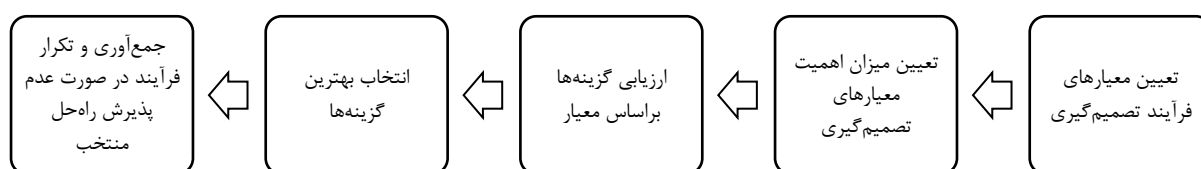
با وجود انجام پژوهش‌های متعدد در زمینه انتخاب فناوری‌های مدیریت پسماند با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی، اغلب پژوهش‌ها تنها بر تعداد محدودی از گزینه‌ها یا معیارها متمرکز بوده و کمتر به بررسی جامع گزینه‌های رایج در شرایط ایران پرداخته‌اند. همچنین، در بسیاری از مطالعات داخلی، تطابق معیارهای ارزیابی با شرایط بومی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. پژوهش حاضر با تمرکز بر چندین فناوری متداول و در نظر گرفتن معیارهای متنوع فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، سعی دارد این خلأ را پوشش داده و الگویی قابل انطباق با شرایط شهری کشور ارائه دهد.

در این پژوهش، ابتدا معیارهای ارزیابی روش‌های مدیریت پسماند شهری معرفی شده و روش تحلیل سلسله‌مراتبی برای تعیین اهمیت نسبی این معیارها توضیح داده می‌شود. سپس، طیف گسترده‌تری از روش‌های مدیریت پسماند شهری که برای کاربردهای شهری مناسب هستند، شناسایی و براساس این معیارها مقایسه می‌شوند. پس از آن، روش‌های بهینه اولویت‌بندی خواهد شد. هدف

اصلی این مقاله، ارائه یک چارچوب علمی و عملی برای انتخاب روش بهینه مدیریت پسماند شهری است تا با در نظر گرفتن معیارهای مختلف، تصمیمی منطقی و کارآمد اتخاذ شود. به این ترتیب، این مطالعه می‌تواند به سیاست‌گذاران، مدیران شهری و پژوهشگران کمک کند تا روش‌های مناسبی را برای به‌کارگیری در سامانه‌های مدیریت پسماند شهری انتخاب کنند.

۲. روش‌شناسی

انتخاب بهترین روش برای مدیریت پسماند شهری یک چالش اساسی است. در حال حاضر، برای انتخاب بهترین روش مدیریت پسماند شهری روش‌های متفاوتی وجود دارد. در انتخاب بهترین روش، ذی‌نفعان متعددی حضور دارند که معیارها و منافع متفاوتی دارند. به همین دلیل، شناسایی گزینه‌ای که تمام این ملاحظه‌ها را برآورده کند، می‌تواند امری پیچیده باشد. اجرای موفقیت‌آمیز این تصمیم به بررسی‌های مقدماتی برای آشنایی با جنبه‌ها و چالش‌های استراتژیک مختلف قبل از تدوین و اجرای سیاست‌ها نیاز دارد؛ بنابراین، ابتدا با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره به بررسی عوامل مرتبط با اجرای روش‌های مدیریت پسماند پرداخته شده است.



شکل ۱. گام‌های روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره [۲۲]

تصمیم‌گیری چندمعیاره طیف گسترده‌ای از روش‌ها را شامل می‌شود که به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا در شرایطی که معیارهای متعددی وجود دارد، دیدگاه‌های مختلف ذی‌نفعان و تصمیم‌گیرندگان را که دارای اولویت‌ها و اهداف متفاوتی هستند، با یکدیگر ادغام کند تا به یک راه‌حل بهینه و توافقی دست یابند. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره اغلب شامل مراحل هستند که در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

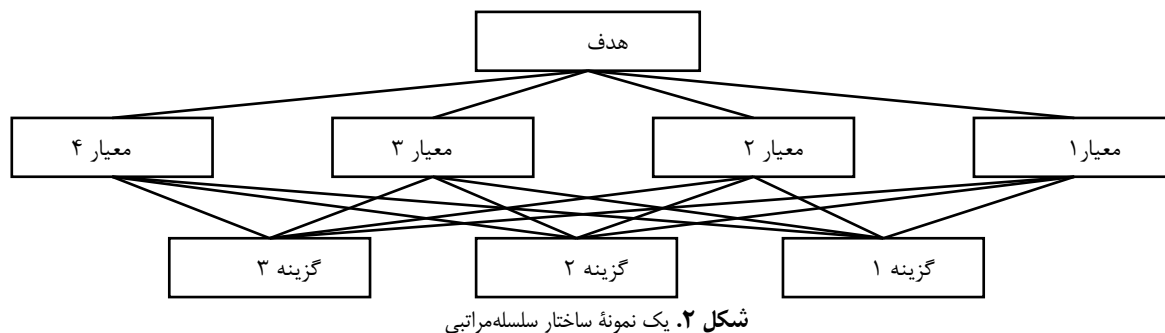
برای انجام فرآیند تصمیم‌گیری در این پژوهش، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شده است. ابتدا، فناوری‌های مرتبط با مدیریت پسماند شناسایی شده و با توجه به پیشرفت‌های جهانی و ویژگی‌های منحصر به فرد آن‌ها، چند فناوری به عنوان فناوری منتخب در نظر گرفته شده است. سپس، اولین گام این تحلیل یعنی تعیین هدف، با عنوان انتخاب بهترین فناوری مشخص می‌شود. در مرحله بعد لازم است معیارهای مؤثر بر این هدف شناسایی و انتخاب شوند.

۲-۱. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی در تصمیم‌گیری

روش تحلیل سلسله‌مراتبی نخستین بار توسط توماس ساعتی^۱ در دهه ۱۹۷۰ میلادی معرفی شد. این روش، از پرکاربردترین روش‌ها در تصمیم‌گیری چندمعیاره است. این روش زمانی استفاده می‌شود که تصمیم‌گیری نیازمند مقایسه چندین گزینه براساس معیارهای مختلف باشد. روش تحلیل سلسله‌مراتبی مسئله تصمیم‌گیری را به یک ساختار سلسله‌مراتبی تبدیل می‌کند که شامل سه سطح اصلی به شرح زیر است:

۱. هدف^۲: انتخاب بهترین فناوری‌ها برای مدیریت پسماند
۲. معیارها^۳: شاخص‌هایی که برای ارزیابی فناوری‌ها استفاده می‌شوند (۷ معیار شناسایی شده)
۳. گزینه‌ها^۴: فناوری‌های موجود برای مدیریت پسماند (۶ فناوری)

1. Thomas L. Saaty
2. Goal
3. Criteria
4. Alternative



طبق شکل ۲ در روش تحلیل سلسله‌مراتبی، ابتدا یک هدف تعیین می‌شود. سپس، برای انتخاب گزینه‌ها، چند معیار در نظر گرفته می‌شود. این معیارها به کمک داده‌های ورودی به مقادیر عددی تبدیل می‌شود. مدل تحلیل سلسله‌مراتبی، در نهایت با توجه به مقادیر عددی مشخص شده برای معیارها، گزینه‌ها را اولویت‌بندی می‌کند.

در مرحله اول، ساختار سلسله‌مراتبی مسئله شکل می‌گیرد که شامل هدف، معیارها و گزینه‌های موجود است. در این مطالعه، ۷ معیار و ۶ فناوری مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در مرحله دوم، معیارها از طریق مقایسه زوجی ارزیابی می‌شوند. این مقایسه‌ها براساس نظرهای متخصصان و خبرگان این حوزه انجام شده است که در جلسه‌های خبرگی شرکت کرده‌اند. در این جلسه‌ها، خبرگان با مقایسه معیارها نسبت به یکدیگر، میزان اهمیت هر معیار را تعیین کرده‌اند. این مقایسه‌ها اغلب براساس مقیاس ۹ امتیازی ساعتی انجام می‌شود. در روش تحلیل سلسله‌مراتبی، مقیاس ساعتی^۱ به مقیاس ترجیحی ۱ تا ۹ اشاره دارد که توسط توماس ساعتی برای مقایسه زوجی معیارها و گزینه‌ها پیشنهاد شده است. این مقیاس برای بیان شدت ترجیح یک معیار یا گزینه نسبت به دیگری در فرایند تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌شود؛ که به صورت جدول ۱ تعریف می‌شود.

جدول ۱. مقیاس ساعتی در روش تحلیل سلسله‌مراتبی

توضیح	سطح ترجیح (اهمیت)	عدد
دو گزینه یا معیار اهمیت یکسان دارند.	برابر ^۲	۱
یکی از گزینه‌ها نسبت به دیگری کمی مهم‌تر است.	کمی مهم‌تر ^۳	۳
یکی از گزینه‌ها اهمیت قابل توجهی نسبت به دیگری دارد.	مهم‌تر ^۴	۵
یک گزینه نسبت به دیگری بسیار برتر است.	بسیار مهم‌تر ^۵	۷
یک گزینه به طور کامل برتر و غالب بر گزینه دیگر است.	به طور کامل برتر ^۶	۹
برای مواقعی که تصمیم‌گیرنده بین دو سطح قرار دارد.	مقدارهای میانی ^۷	۲، ۴، ۶، ۸

طیف لیکرت^۸ یکی دیگر از ابزارهای روان‌سنجی شناخته‌شده برای اندازه‌گیری نگرش‌ها، نظرها یا درک‌های افراد است. این ابزار شامل مجموعه‌ای از بیانی‌ها است که هر یک از پاسخ‌دهندگان می‌توانند از بین گزینه‌ها، پاسخ مناسب را انتخاب کنند. این گزینه‌ها اغلب در قالب یک مقیاس ۵ درجه‌ای از «به طور کامل مخالفم» تا «به طور کامل موافقم» قرار دارند. این مقیاس برای تبدیل پاسخ‌های کیفی به داده‌های کمی بسیار مناسب است و به پژوهشگران این امکان را می‌دهد که نگرش‌ها و نظرهای افراد را به طور دقیق‌تر و قابل تجزیه و تحلیل اندازه‌گیری و به مقادیر کمی تبدیل کنند. این ابزار به دلیل سادگی و قابلیت استفاده گسترده در پژوهش‌های مختلف، به‌ویژه در روان‌شناسی، علوم اجتماعی، بازاریابی و سایر حوزه‌های پژوهشی مورد توجه قرار گرفته است. یکی از ویژگی‌های برجسته طیف لیکرت این است که می‌تواند مجموعه‌ای از پرسش‌های مرتبط را در یک مقیاس ترکیبی جمع‌آوری کند. از این‌رو این طیف، برای اندازه‌گیری مفاهیم وسیع‌تر و پیچیده‌تر مناسب است [۲۳].

1. Saaty Scale
2. Equal
3. Moderate
4. Strong
5. Very Strong
6. Extremely Strong
7. Intermediate
8. Likert Scale

پس از جمع‌آوری نظرهای متخصصان، یک ماتریس مقایسه‌های زوجی تشکیل می‌شود. اگر n معیار برای تصمیم‌گیری وجود داشته باشد، ماتریس مقایسه‌های زوجی به صورت رابطه ۱ خواهد بود.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \frac{1}{a_{13}} & \frac{1}{a_{23}} & 1 & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \frac{1}{a_{3n}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

در این ماتریس مقدار a_{ij} اهمیت معیار i نسبت به معیار j ، $\frac{1}{a_{ij}}$ برای حفظ تقارن ماتریس و مقادیرهای روی قطر اصلی برابر با ۱ هستند، زیرا هر معیار با خودش مقایسه شده است. برای محاسبه وزن نسبی معیارها، ابتدا عناصر هر ستون بر مجموع مقادیر آن در جهت نرمال‌سازی ماتریس مقایسه‌های زوجی ستون تقسیم می‌شوند (رابطه ۲).

$$A_{norm.i,j} = \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} & \frac{a_{12}}{\sum_{i=1}^n a_{i2}} & \frac{a_{13}}{\sum_{i=1}^n a_{i3}} & \dots & \frac{a_{1n}}{\sum_{i=1}^n a_{in}} \\ \frac{a_{21}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} & \frac{a_{22}}{\sum_{i=1}^n a_{i2}} & \frac{a_{23}}{\sum_{i=1}^n a_{i3}} & \dots & \frac{a_{2n}}{\sum_{i=1}^n a_{in}} \\ \frac{a_{31}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} & \frac{a_{32}}{\sum_{i=1}^n a_{i2}} & \frac{a_{33}}{\sum_{i=1}^n a_{i3}} & \dots & \frac{a_{3n}}{\sum_{i=1}^n a_{in}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{a_{n1}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} & \frac{a_{n2}}{\sum_{i=1}^n a_{i2}} & \frac{a_{n3}}{\sum_{i=1}^n a_{i3}} & \dots & \frac{a_{nn}}{\sum_{i=1}^n a_{in}} \end{bmatrix} \quad (2)$$

وزن هر معیار (ω_i) از میانگین سطری ماتریس نرمال‌سازی شده به دست می‌آید (رابطه ۳).

$$\omega_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_{norm.i,j} \quad (3)$$

بردار وزن معیارها به صورت رابطه ۴ خواهد بود.

$$W = \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

یکی از ویژگی‌های مهم روش تحلیل سلسله‌مراتبی، بررسی سازگاری قضاوت‌های خبرگان است. اگر ناسازگاری مقایسه‌ها زیاد باشد (نرخ ناسازگاری^۱ بیش‌تر از ۰/۱ باشد)، باید مقایسه‌ها مورد بازبینی قرار گیرند. برای این منظور، ابتدا مقدار ویژه^۲ بیشینه (λ_{max}) از رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{(AW)_j}{W_j} \quad (5)$$

که در آن A ماتریس مقایسه‌های زوجی اولیه، W بردار وزن معیارها AW حاصل ضرب ماتریس A در بردار وزن‌ها است. سپس، نسبت سازگاری^۳ از رابطه ۶ محاسبه می‌شود که در آن شاخص یا نرخ ناسازگاری به صورت رابطه ۷ است.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

RI مقدار تصادفی است که بسته به تعداد معیارها مقدار مشخصی دارد. این مقادارها در جدول ۲ ارائه شده است.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (7)$$

جدول ۲. مقدارهای RI براساس تعداد معیار

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹

اگر $CR < 0/1$ باشد، ماتریس مقایسه‌های زوجی سازگار است، در غیر این صورت، باید مجدد مقایسه‌های زوجی اصلاح شوند.

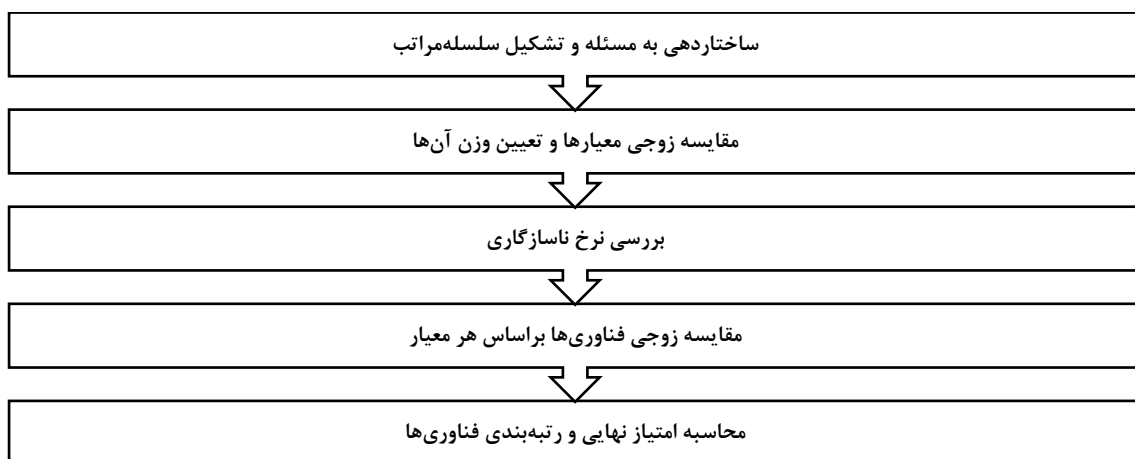
پس از تعیین وزن معیارها، فناوری‌های مورد بررسی نیز از طریق مقایسه زوجی و براساس هر معیار امتیازدهی می‌شوند. به‌عنوان مثال، اگر دو فناوری «الف» و «ب» از نظر معیار «سرمایه‌گذاری اولیه» مقایسه شوند، بسته به نظرهای متخصصان، یکی از آن‌ها ممکن است امتیاز بالاتری بگیرد. این روند برای تمامی فناوری‌ها و تمامی معیارها تکرار می‌شود و یک ماتریس نهایی از وزن‌دهی فناوری‌ها به دست می‌آید. پس از محاسبه وزن معیارها، فناوری‌های مختلف نیز با استفاده از همین فرایند مقایسه زوجی شده و یک ماتریس مقایسه‌های زوجی برای آن‌ها تشکیل می‌شود. سپس، با استفاده از مرحله‌های قبل، وزن نسبی گزینه‌ها برای هر معیار محاسبه می‌شود.

درنهایت، امتیاز نهایی هر گزینه از طریق ترکیب وزن معیارها (W) و وزن گزینه‌ها نسبت به هر معیار (V) مطابق (۸) به دست می‌آید.

$$S = V \times W \quad (8)$$

که در آن S بردار امتیازهای نهایی گزینه‌ها، V ماتریس وزن‌های گزینه‌ها نسبت به هر معیار و W بردار وزن معیارها است. در نهایت گزینه‌ای که بالاترین مقدار S را داشته باشد، به عنوان فناوری برتر انتخاب خواهد شد. در مرحله آخر، وزن هر فناوری براساس معیارها محاسبه می‌شود و امتیاز نهایی هر فناوری به دست می‌آید. فناوری که بالاترین امتیاز را کسب کند، به عنوان گزینه برتر انتخاب خواهد شد.

در شکل ۳ یک نمایش تصویری از تمامی مراحل یادشده نشان داده شده است.



شکل ۳. شکل مفهومی مراحل انجام روش تحلیل سلسله‌مراتبی [۲۴]

در این پژوهش، تعیین وزن معیارها از طریق جلسه‌های خبرگی با متخصصان حوزه مدیریت پسماند و انرژی‌های تجدیدپذیر انجام شد. در انتخاب متخصصان، با توجه به موضوع پژوهش که مرتبط با فناوری‌های مدیریت پسماند شهری است، تلاش شد تا تنوع تخصص در ترکیب افراد لحاظ شود. به همین منظور، نمونه‌گیری به صورت هدفمند انجام گرفت و متخصصان دعوت شده

شامل گروهی از اعضای هیئت‌علمی دانشگاه‌ها، پژوهشگران حوزه انرژی و محیط زیست، و کارشناسان با تجربه از سازمان‌های مرتبط با مدیریت پسماند شهری و بازیافت بودند. به این ترتیب، ترکیبی از دیدگاه‌های علمی و اجرایی در فرایند تصمیم‌گیری وارد شد. ابتدا معیارهای ارزیابی فناوری‌ها به این افراد معرفی شد و سپس، از آن‌ها خواسته شد تا از طریق مقایسه زوجی، میزان اهمیت هر معیار را مشخص کنند. داده‌ها از طریق پرسش‌نامه‌های مقایسه زوجی و برگزاری جلسه‌های تخصصی جمع‌آوری شد. در نهایت، با استفاده از میانگین‌گیری هندسی، مقدار نهایی مقایسه زوجی در صورتی که k خبره مقدار مقایسه زوجی را به صورت a_i ارائه دهند، از (۹) محاسبه شد. در واقع مقدار نهایی، ریشه مرتبه k از حاصل ضرب تمام مقادیر پیشنهادی خبرگان است.

$$\left(\prod_{i=1}^k a_i \right)^{1/k} = \sqrt[k]{a_1 a_2 \dots a_k} \quad (9)$$

پس از دریافت نظرهای خبرگان، وزن نهایی معیارها محاسبه شد و نرخ ناسازگاری بررسی شد. در صورت بالا بودن نرخ ناسازگاری، جلسه‌های بازبینی برگزار شد تا اطمینان حاصل شود که وزن‌ها از اعتبار کافی برخوردار هستند. در فرایند وزن‌دهی، برخی معیارها به گونه‌ای هستند که مقدار کمتر آن‌ها، مطلوب‌تر است. بنابراین، برای حفظ یکپارچگی در مقایسه، این شاخص‌ها معکوس شده‌اند. این معیارها شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری، میزان آلاینده‌گی، نیاز به نیروی متخصص و مصرف انرژی هستند. در این موارد، هر چه مقدار عددی معیار کمتر باشد، فناوری از نظر آن شاخص مطلوب‌تر خواهد بود. معکوس‌سازی این معیارها در نرم‌افزار انجام شده و مقدار آن‌ها به صورت خودکار تغییر یافته است. این اقدام باعث هماهنگی بین معیارها و بهبود دقت مقایسه شده است.

در این پژوهش، از نرم‌افزار سوپردسیژن^۱ برای اجرای فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. این نرم‌افزار امکان مدل‌سازی سلسله‌مراتبی، انجام مقایسه‌های زوجی، محاسبه وزن‌های نهایی و بررسی نرخ ناسازگاری را فراهم کرده است. یکی از قابلیت‌های کلیدی این نرم‌افزار، امکان نمایش ساختار سلسله‌مراتبی و تجزیه مسئله به سطوح مختلف شامل هدف، معیارها و گزینه‌ها است. همچنین، این نرم‌افزار نرخ ناسازگاری مقایسه‌ها را بررسی می‌کند و در صورتی که مقدار نرخ ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد، نرم‌افزار پیشنهادهایی برای بهبود سازگاری ارائه می‌دهد.

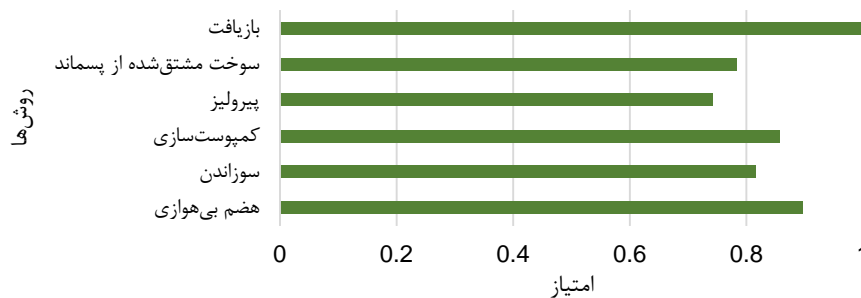
۲-۲. شناسایی و تعریف معیارها

در فرایند ارزیابی فناوری‌های مدیریت پسماند، معیارها در چهار دسته اصلی فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به عنوان مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در انتخاب فناوری بهینه در نظر گرفته شده‌اند. این معیارها با در نظر گرفتن الزام‌های فنی، ملاحظه‌های اقتصادی و اجتماعی و پیامدهای زیست‌محیطی تعیین شده‌اند تا یک ارزیابی جامع از فناوری‌های مختلف ارائه شود. از نظر فنی، عواملی مانند بلوغ فناوری، قابلیت اطمینان، راندمان تبدیل انرژی و تطبیق‌پذیری با انواع پسماندها اهمیت دارند [۲۵]. از جنبه زیست‌محیطی، میزان آلاینده‌گی هوا، تولید پساب، نیاز به زمین و تأثیر بر اکوسیستم نقش تعیین‌کننده‌ای دارند [۲۶]. هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه عملیات و نگهداری، سود اقتصادی و میزان بازیافت مواد با ارزش نیز معیارهای کلیدی اقتصادی محسوب می‌شوند [۳]. در حالی که پذیرش عمومی، قوانین و استانداردهای زیست‌محیطی و امکان اجرای پروژه در مقیاس محلی، معیارهای اجتماعی و قانونی را شامل می‌شوند [۲۷].

در این پژوهش، در حوزه معیارهای فنی، مصرف انرژی، کارایی فرایند و نیاز به نیروی متخصص در نظر گرفته شده‌اند. در بحث معیار اقتصادی، دسترسی به منابع و هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای ارزیابی توجیه‌پذیری مالی، مورد بررسی قرار گرفته است. معیارهای زیست‌محیطی شامل آلاینده‌گی زیست‌محیطی است. این معیار شامل میزان تولید شیرابه و انتشار گازهایی است که تأثیر فناوری بر کیفیت هوا، آب و خاک را ارزیابی می‌کند و نقش مهمی در پایداری و پذیرش اجتماعی این فناوری‌ها ایفا می‌کند. این معیارها با توجه به بررسی مطالعه‌های پیشین و مشورت با چندین کارشناس و متخصص حوزه مدیریت پسماند، انرژی و محیط زیست انتخاب شده‌اند تا تمامی جنبه‌های کلیدی در تصمیم‌گیری پوشش داده شوند.

۳. تحلیل نتایج

در این پژوهش، شش روش مدیریت پسماند شامل بازیافت، هضم بی‌هوازی، کمپوست، سوزاندن، سوخت مشتق‌شده از پسماند و پیرولیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برای مقایسه این گزینه‌ها، هفت معیار کلیدی شامل دسترسی به منابع، هزینه‌های سرمایه‌گذاری، کارایی فرایند، مصرف انرژی، آلاینده‌گی محیط زیست، نیاز به نیروی متخصص و پذیرش اجتماعی در نظر گرفته شده است. مقدار ناسازگاری مقایسه‌ها کمتر از حد استاندارد بوده که نشان‌دهنده دقت و قابلیت اتکای نتایج حاصل از این فرایند است. نتایج حاصل از نرم‌افزار در شکل ۴ نشان داد روش بازیافت با امتیاز ۰/۰۹۸۲ بهترین گزینه برای مدیریت پسماند است. این روش به دلیل کاهش مصرف منابع، هزینه‌های پایین‌تر، پذیرش اجتماعی بالا و مزایای زیست‌محیطی برتر از سایر گزینه‌ها پیشی گرفته است. هضم بی‌هوازی با امتیاز ۰/۰۸۷۹ در رتبه دوم قرار دارد که به دلیل تولید بیوگاز و کاهش حجم پسماندهای آلی، یک راه‌کار پایدار و کارآمد محسوب می‌شود. کمپوست با امتیاز ۰/۰۸۴۰ نیز در جایگاه سوم قرار گرفته و به دلیل تولید کود ارگانیک و کاهش آلودگی خاک، به عنوان یکی از گزینه‌های مناسب برای مدیریت پسماندهای آلی معرفی شده است. در رتبه‌های پایین‌تر، سوزاندن پسماند با امتیاز ۰/۰۸۰۱ به دلیل اثر منفی زیست‌محیطی و انتشار آلاینده‌ها، گزینه‌ای کمتر مطلوب شناخته شد. سوخت مشتق‌شده از پسماند و پیرولیز به ترتیب با امتیازهای ۰/۰۷۶۹ و ۰/۰۷۲۹ در رتبه‌های پنجم و ششم قرار گرفتند. این روش‌ها به دلیل نیاز به فناوری‌های پیشرفته، هزینه‌های اجرایی بالا و چالش‌های فنی متعدد در مقایسه با سایر گزینه‌ها جذابیت کمتری دارند. این یافته‌ها نشان می‌دهد روش‌های پایدار و کم‌هزینه مانند بازیافت و هضم بی‌هوازی، نسبت به روش‌های پرهزینه و آلاینده مانند سوزاندن و پیرولیز، برای مدیریت پسماند ارجحیت دارند. این اولویت‌بندی مربوط به شرایط حال حاضر است و ممکن است در آینده نزدیک با توسعه فناوری‌ها و سیاست‌گذاری‌های جدید و در نتیجه، تغییر در مقدار شاخص‌ها، اولویت‌بندی‌ها تغییر کند. رتبه‌بندی فناوری‌های مدیریت پسماند در شکل ۵ قابل مشاهده است.

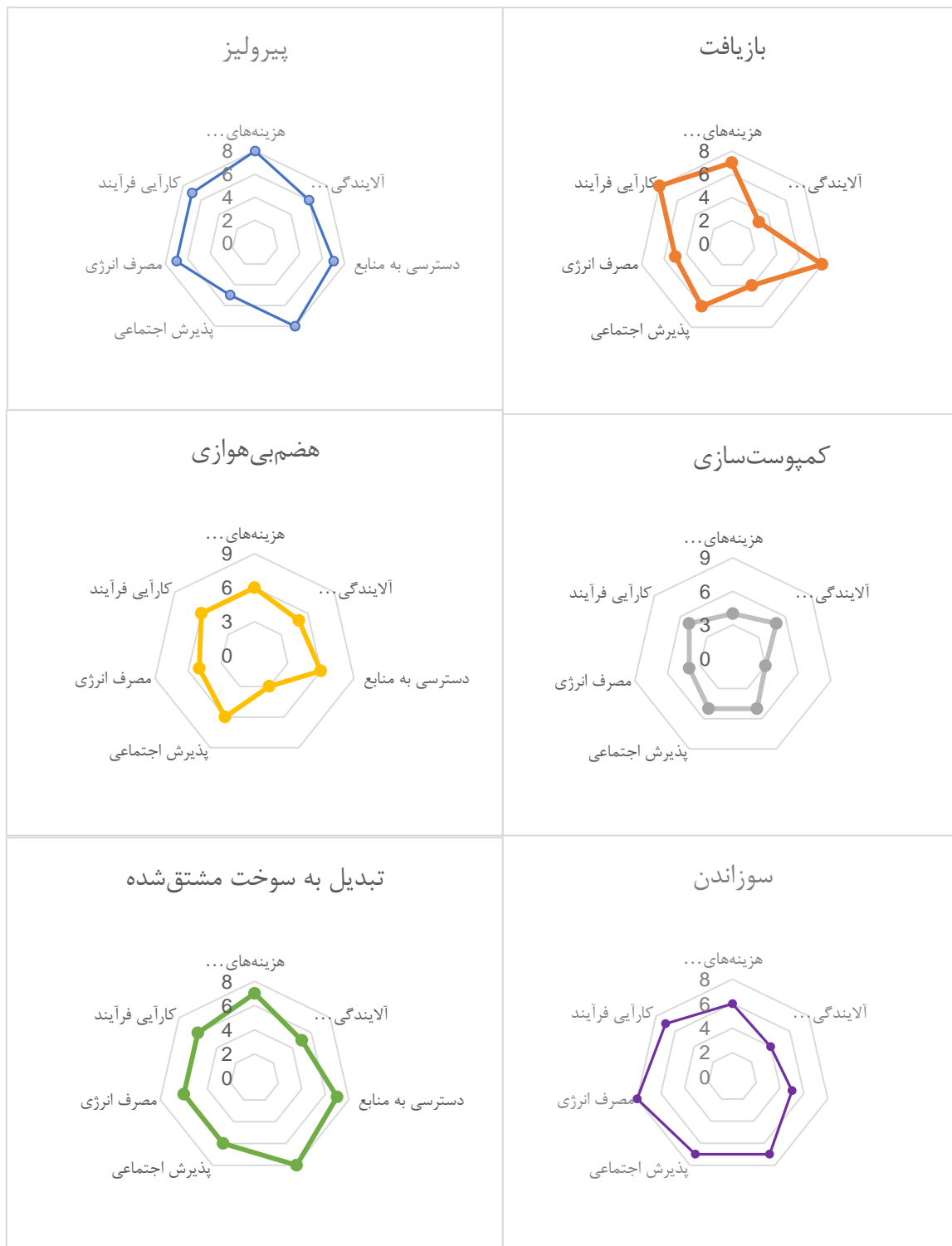


شکل ۴. اولویت‌بندی در تعیین فناوری منتخب مدیریت پسماند با استفاده از داده‌های نرم‌افزار



شکل ۵. رتبه‌بندی فناوری‌های مدیریت پسماند

همان‌طور که در نمودارهای شکل ۶ نشان داده شده است، فناوری بازیافت در معیارهای کارایی فرایند، میزان آلاینده‌گی و مصرف انرژی که هر سه جزء معیارهای برتر در تحلیل سلسله‌مراتبی برای مدیریت پسماند محسوب می‌شدند، ارجحیت بالایی دارد و همین موضوع مطلوبیت اجرای این فناوری را نشان می‌دهد.



شکل ۶. نمودارهای ترجیح معیارها برای هر فناوری

۴. نتیجه‌گیری

مدیریت پسماند شهری یکی از موضوعات مهم در تحقق توسعه پایدار به شمار می‌آید که مستلزم انتخاب بهینه‌ترین فناوری‌ها بر اساس مجموعه‌ای از معیارهای زیست‌محیطی، اقتصادی، فنی و اجتماعی است. در این پژوهش، به منظور ارزیابی و اولویت‌بندی فناوری‌های مختلف مدیریت پسماند از جمله بازیافت، کمپوست‌سازی، هضم بی‌هوازی، پیرولیز، سوزاندن و سوخت مشتق شده از پسماند، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. همچنین، برخی از معیارهای ارزیابی از جمله هزینه‌های سرمایه‌گذاری، میزان آلاینده‌ها، مصرف انرژی و نیاز به نیروی متخصص، به صورت معکوس در تحلیل لحاظ شدند، چرا که مقدار کمتر آن‌ها مطلوب‌تر تلقی می‌شود. یافته‌های پژوهش نشان داد فناوری‌هایی نظیر بازیافت و هضم بی‌هوازی، به دلیل هزینه‌های پایین‌تر، آلاینده‌گی کمتر و سطح بالای پذیرش اجتماعی، در رتبه‌های بالاتری قرار دارند. در مقابل، روش‌هایی مانند سوزاندن و پیرولیز به دلیل هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری، نیاز به دانش فنی پیشرفته و آثار زیست‌محیطی بیشتر، در اولویت‌های پایین‌تر دسته‌بندی شدند. مقدار شاخص ناسازگاری در مقایسه‌های زوجی کمتر از حد مجاز است که اعتبار نتایج را نشان می‌دهد.

با توجه به این نتایج، پیشنهاد می‌شود سیاست‌گذاران و مدیران شهری سرمایه‌گذاری بیشتری در توسعه زیرساخت‌های مرتبط با بازیافت و هضم بی‌هوازی انجام دهند. از طرف دیگر، اجرای سیاست‌های تشویقی برای ترویج تفکیک پسماند از مبدأ از طریق آموزش عمومی، تسهیلات مالی و تعرفه‌های ترجیحی می‌تواند گامی اثرگذار در افزایش مشارکت شهروندان باشد. علاوه بر آن، توسعه و بومی‌سازی فناوری‌های نوین در حوزه بازیابی انرژی از پسماند، به‌ویژه از طریق به‌کارگیری بیوراکتورهای پیشرفته، می‌تواند موجب افزایش بهره‌وری سامانه‌های مدیریت پسماند شود. در عین حال، کاربرد روش‌های پرهزینه و آلاینده نظیر سوزاندن و پیرولیز، تنها در شرایط خاص و با اعمال کنترل‌های دقیق زیست‌محیطی توصیه می‌شود.

با وجود دقت قابل توجه روش تحلیل سلسله‌مراتبی، این پژوهش با برخی محدودیت‌ها نیز مواجه بوده است. از جمله اینکه وزن‌دهی به معیارها بر اساس نظر خبرگان انجام شده که ممکن است تحت تأثیر قضاوت‌های ذهنی قرار گیرد. همچنین، داده‌های تجربی مبتنی بر عملکرد واقعی پروژه‌ها به صورت محدود در دسترس بود و تحلیل‌ها بیشتر بر پایه اطلاعات ثانویه صورت گرفته است. افزون بر این، عواملی نظیر نوسان اقتصادی، تغییر سیاست‌گذاری، و تأثیر بلندمدت زیست‌محیطی در مدل لحاظ نشده‌اند. در مطالعه‌های آتی پیشنهاد می‌شود از روش‌های ترکیبی تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و تاپسیس فازی برای کاهش اثر ذهنی بودن قضاوت‌ها استفاده شود. همچنین، بهره‌گیری از تحلیل سناریو، مدل‌سازی عدم قطعیت، و مطالعات میدانی با داده‌های واقعی شهری می‌تواند به افزایش دقت تصمیم‌گیری و بهبود کارایی سامانه‌های مدیریت پسماند کمک کند. در نهایت، توجه به عوامل فرهنگی، مشارکت مردمی و ظرفیت نهادی مناطق مختلف نیز می‌تواند به طراحی سامانه‌های اثرگذارتر و پایدارتر منجر شود. علاوه بر این، انجام مطالعه‌های تکمیلی با در نظر گرفتن عوامل منطقه‌ای، فرهنگی و فنی می‌تواند به بهبود تصمیم‌گیری و افزایش کارایی سامانه مدیریت پسماند شهری کمک کند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب سپاس خود را از مرکز پژوهشی انرژی و دانشکده انرژی دانشگاه شهید بهشتی به دلیل حمایت‌ها و راهنمایی‌های ارزشمند این مجموعه طی این پژوهش ابراز می‌دارند. بازخوردهای سازنده، دسترسی به امکانات پژوهشی و مشارکت‌های علمی این مرکز نقش مهمی در غنای این مطالعه داشته است.

منابع

1. "Solid Waste Management." Accessed: Mar. 08, 2025. [Online]. Available: <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management>
2. T. Malkow, "Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies for energy efficient and environmentally sound MSW disposal," *Waste Management*, vol. 24, no. 1, pp. 53–79, 2004, doi: 10.1016/S0956-053X(03)00038-2.
3. H. Parekh, K. Yadav, S. Yadav, and N. Shah, "Identification and assigning weight of indicator influencing performance of municipal solid waste management using AHP," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 19, no. 1, pp. 36–45, Jan. 2015, doi: 10.1007/s12205-014-2356-3.
4. A. Nzihou, "Toward the valorization of waste and biomass," *Waste Biomass Valorization*, vol. 1, no. 1, pp. 3–7, Mar. 2010, doi: 10.1007/s12649-010-9014-x.
5. A. Kurbatova and H. A. Abu-Qdais, "Using multi-criteria decision analysis to select waste to energy technology for a Mega city: The case of Moscow," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 23, pp. 1–18, Dec. 2020, doi: 10.3390/su12239828.
6. M. A. Mujtaba *et al.*, "Evaluating sustainable municipal solid waste management scenarios: A multicriteria decision making approach," *Heliyon*, vol. 10, no. 4, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e25788.
7. W. A. Qazi, M. F. M. Abushammala, and M. H. Azam, "Multi-criteria decision analysis of waste-to-energy technologies for municipal solid waste management in Sultanate of Oman," *Waste Management and Research*, vol. 36, no. 7, pp. 594–605, Jul. 2018, doi: 10.1177/0734242x18777800.
8. A. Khoshand, K. Khanlari, H. Abbasianjahromi, and M. Zoghi, "Construction and demolition waste management: Fuzzy Analytic Hierarchy Process approach," *Waste Management and Research*, vol. 38, no. 7, pp. 773–782, Jul. 2020, doi: 10.1177/0734242X20910468.
9. P. F. Rupani *et al.*, "Current scenario of the tehran municipal solid waste handling rules towards green technology," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 16, no. 6, Mar. 2019, doi: 10.3390/ijerph16060979.
10. P. Agamuthu and S. Babel, "Waste management developments in the last five decades: Asian perspective," Dec. 01, 2023, *SAGE Publications Ltd.* doi: 10.1177/0734242X231199938.
11. S. N. S. S. Azahari *et al.*, "Developing a Sustainable Solid Waste Management System Using Analytical Hierarchy Process (AHP) Method at Pondok Institutions in Kelantan," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing Ltd, Sep. 2021. doi: 10.1088/1755-1315/842/1/012060.
12. B. G. Demircan and K. Yetilmezsoy, "A Hybrid Fuzzy AHP-TOPSIS Approach for Implementation of Smart Sustainable Waste Management Strategies," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 8, Apr. 2023, doi: 10.3390/su15086526.
13. G. Sasikumar, A. Sivasangari, and N. Venkatachalam, "Application of Analytical Hierarchy Process (AHP) for Assessment of Collection and Transportation of Solid Waste: An Empirical Study," *Nature Environment and Pollution Technology*, vol. 21, no. 1, pp. 283–288, Mar. 2022, doi: 10.46488/NEPT.2022.v21i01.033.
14. M. Ghimire, S. Pandey, and J. R. Woo, "Assessing stakeholders' risk perception in public-private partnerships for waste-to-energy projects: A case study of Nepal," *Energy for Sustainable Development*, vol. 79, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.esd.2024.101414.
15. Z. Hasankhani, M. Zandieh, and E. B. Tirkolaei, "Identification of optimal waste-to-energy strategies for sustainable development in Iran: SWOT analysis, hybrid MCDM methods, and game theory," *Renew Energy*, vol. 237, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.renene.2024.121564.
16. D. Zhao, Y. Chen, H. Yuan, and D. Chen, "Life cycle optimization oriented to sustainable waste management and circular economy: A review," *Waste Management*, vol. 191, pp. 89–106, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.wasman.2024.11.001.
17. B. Biakhmetov, Y. Li, Q. Zhao, A. Dostiyarov, D. Flynn, and S. You, "Transportation and process modelling-assisted techno-economic assessment of resource recovery from non-recycled municipal plastic waste," *Energy Convers Manag*, vol. 324, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.enconman.2024.119273.

18. R. S. Raj, S. Jain, and A. Kumar Sharma, "Transforming municipal solid waste management through material and substance flow analysis: Conversion pathways for sustainable energy production," *Energy Convers Manag*, vol. 322, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.enconman.2024.119164.
19. C. Vlachokostas, A. V. Michailidou, and C. Achillas, "Multi-Criteria Decision Analysis towards promoting Waste-to-Energy Management Strategies: A critical review," Mar. 01, 2021, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.rser.2020.110563.
20. S. S. Sohail *et al.*, "Multi-criteria decision making-based waste management: A bibliometric analysis," Nov. 01, 2023, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e21261.
21. M. Rodrigues, J. A. Antunes, and V. Miguéis, "Aligning priorities: A Comparative analysis of scientific and policy perspectives on municipal solid waste management," *Waste Management*, vol. 193, pp. 70–83, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.wasman.2024.11.031.
22. G. Garcia-Garcia, "Using Multi-Criteria Decision-Making to optimise solid waste management," Oct. 01, 2022, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.cogsc.2022.100650.
23. M. Koo and S.-W. Yang, "Likert-Type Scale," *Encyclopedia*, vol. 5, no. 1, p. 18, Feb. 2025, doi: 10.3390/encyclopedia5010018.
24. "What is the Analytic Hierarchy Process (AHP)? | Passage Technology." Accessed: Dec. 23, 2023. [Online]. Available: <https://www.passagetechnology.com/what-is-the-analytic-hierarchy-process>
25. F. Ahammed and A. Azeem, "Selection of the most appropriate package of Solar Home System using Analytic Hierarchy Process model in rural areas of Bangladesh," *Renew Energy*, vol. 55, pp. 6–11, Jul. 2013, doi: 10.1016/j.renene.2012.12.020.
26. H. Shahabi, S. Keihanfard, B. Bin Ahmad, and M. J. T. Amiri, "Evaluating Boolean, AHP and WLC methods for the selection of waste landfill sites using GIS and satellite images," *Environ Earth Sci*, vol. 71, no. 9, pp. 4221–4233, 2014, doi: 10.1007/s12665-013-2816-y.
27. L. A. Guerrero, G. Maas, and W. Hogland, "Solid waste management challenges for cities in developing countries," *Waste Management*, vol. 33, no. 1, pp. 220–232, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.wasman.2012.09.008.



An analysis of the role of urban policies on the development of the physical spatial structure of new Towns (Case study: Sadra City)

Ali Shamsoddini^{1*}  | Seyed Alireza Kazemi²  | Mohammad Ali Khaliji³ 

1. Corresponding Author, Department of Geography, Shi.C., Islamic Azad University, Shiraz, Iran. Email: ali.shamsoddini@yahoo.com
2. Department of Geography, Shi.C., Islamic Azad University, Shiraz, Iran. Email: kazemi32ali@yahoo.com
3. Department of Urban Planning, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. Email: khaliji@iau.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 06 February 2025
Revised 19 March 2025
Accepted 09 April 2025
Published Online 10 May 2025

Keywords:
Urban policymaking,
development of physical spatial structure,
new Towns,
Sadra.

ABSTRACT

New towns in Iran are designed to reduce population pressure on metropolises, but differences in goals and implementation have had different effects on their physical structure. This study analyzes the role of urban policies on the development of the physical-spatial structure of Sadra, that located 15 kilometers northwest of Shiraz. This study, with a descriptive-analytical method and an applied approach, used a questionnaire and field and documentary data, and the data were determined through a researcher-made questionnaire of 100 people (professors and experts in the field of urban planning in Fars province) according to the common standards of the regression method to provide a sufficient sample size to achieve meaningful results. The findings show that urban policies, with a correlation of 0.618, explain 61 percent of the changes in the physical-spatial structure of Sadra. The factors of planning and organization (beta = 0.502), decision-making and policy-making (beta = 0.205), and administrative affairs and services (beta = 0.064) have the greatest impact, respectively. Transportation network, citizen participation, and waste management were identified as the most important influencing factors, while weaknesses in maintaining public spaces and institutional coordination are the main challenges. These results are in line with global studies and emphasize the need to pay attention to sustainability, spatial justice, and participation in policy-making.

Cite this article: Shamsoddini, A.; Kazemi, A. & Khaliji, M. A. (2025). An analysis of the role of urban policies on the development of the physical spatial structure of new Towns (Case study: Sadra City). *Urban Development Policy Making*, 2 (2), 189-205. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.514536.1027>



© Ali Shamsoddini, Seyed Alireza Kazemi, Mohammad Ali Khaliji
DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.514536.1027>

Introduction

Since the 1990s, the world has experienced a profound transformation in urbanization patterns, with urban populations growing at an unprecedented rate. Between 1999 and 2000, approximately 57 million people were added annually to urban areas globally, a figure that increased to 77 million per year from 2010 to 2015. This rapid urbanization, unevenly distributed across regions, has predominantly concentrated in cities, leading to increasingly complex urban societies. Such complexity, coupled with emerging social relationships, enhanced connectivity, and heightened competitiveness, has positioned urban management and development as one of the critical challenges of the 21st century. Cities, as hubs of population growth and economic activity, face challenges such as congestion, environmental pollution, and infrastructure strain, necessitating innovative urban planning and policymaking approaches. The spatial-physical structure of cities, a fundamental aspect

of urban management, is pivotal in shaping their development trajectory. Understanding this structure and the factors influencing its expansion across different periods is essential not only for interpreting historical trends but also for guiding future growth. In developing countries like Iran, rapid urbanization since the mid-20th century has disrupted traditional urban physical structures, particularly in metropolitan areas, where demand for services and infrastructure has surged, underscoring the need for modern urban management strategies. The spatial-physical structure of new cities—encompassing architecture, urban fabric, expansion patterns, and available spaces—is significantly influenced by urban policymaking. This structure affects residents' quality of life and is closely linked to environmental issues such as air pollution, traffic, and land-use changes. Urban policymaking, as a subset of public policy, has emerged as a key tool in urban planning over recent decades. Through centralized regulations and laws, governments exert influence over local institutions, shaping urban structures—a dynamic particularly evident in new cities designed under centralized planning. Advanced urban policymaking, rooted in socio-political frameworks and governance models, defines development trajectories by setting guidelines for street layouts, land use, construction practices, and spatial expansion. These policies not only steer development but also determine resource distribution, impacting urban sustainability and efficiency.

The central research question is: How have urban policymaking efforts influenced the development of Sadra City's spatial-physical structure? The study posits that the type of management and planning imposed—under centralized government and local oversight—has been instrumental in defining its development patterns. Policies governing land allocation, infrastructure design, construction control, and spatial expansion have collectively shaped the city's form and function. However, challenges such as rising population density, pressure on natural resources, and demand for public services indicate a need to reassess existing policies.

This analysis offers multiple insights into new city management. It evaluates the extent to which urban policies have achieved decentralization and sustainable development goals, identifies strengths and weaknesses in adapting to local and regional needs, and proposes strategies to enhance urban governance and quality of life. By focusing on Sadra, the study seeks a deeper understanding of the interplay between advanced urban policymaking and spatial-physical development, contributing to frameworks for more effective management of Iran's new cities.

Methodology

The research adopts a descriptive-analytical methodology with practical objectives, aiming to assess current conditions and propose sustainable urban management solutions. The statistical population comprises 100 urban planning and development experts in Sadra, including academic and executive elites. Data collection combines documentary (library) and field methods, utilizing a questionnaire designed based on theoretical studies to address research objectives and hypotheses. Data analysis, conducted using SPSS software, involves descriptive and inferential statistics to summarize, code, and categorize findings, establishing relationships between variables to test hypotheses and draw conclusions.

Results

Findings reveal that urban policymaking significantly influences Sadra's spatial-physical development. Descriptive statistics (Tables 4-6 to 4-8) quantify the impact of decision-making, planning, and execution factors. Decision-making and policymaking factors (e.g., citizen participation, mean 4.300; land policies, mean 3.450) demonstrate substantial influence, with high citizen engagement contrasting with variability in land policy perceptions. Planning factors (e.g., transportation networks, mean 4.360; institutional coordination, mean 3.260) highlight transportation's critical role and coordination challenges. Execution factors (e.g., waste management, mean 4.110; public space maintenance, mean 2.960) indicate strengths in service delivery but weaknesses in upkeep.

Regression analysis confirms a significant relationship (correlation 0.618, R^2 0.382) between urban policymaking and spatial-physical development, explaining 61% of variance. Planning and organization factors ($\beta = 0.502$) exert the strongest influence, followed by decision-making ($\beta = 0.205$) and execution ($\beta = 0.064$), emphasizing the primacy of planning in shaping Sadra's structure.

Conclusion

The study concludes that urban policymaking has directly shaped Sadra's spatial-physical evolution, aligning with global research on the importance of coordinated land and infrastructure policies. However, challenges such as institutional misalignment, weak execution, and inadequate public space maintenance hinder full realization of initial goals. Recommendations include enhancing institutional coordination, boosting citizen participation, revising land policies, improving public space management, and adopting long-term smart growth strategies. These findings are relevant not only to Sadra but also to other Iranian new cities facing similar challenges, offering a roadmap for smarter, more sustainable urban policymaking. Future research could compare Sadra with other new cities globally to further refine these insights.



تحلیلی بر نقش سیاست‌گذاری‌های شهری بر توسعه ساختار کالبدی فضایی شهرهای جدید (مورد مطالعه: شهر صدرا)

علی شمس‌الدینی^{۱*} | سید علیرضا کاظمی^۲ | محمدعلی خلیجی^۳

۱. نویسنده مسئول، دانشیار گروه جغرافیا، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران. رایانامه: ali.shamsoddini@yahoo.com

۲. دانش‌آموخته گروه مدیریت امور شهری، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران. رایانامه: kazemi32ali@yahoo.com

۳. استادیار گروه شهرسازی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. رایانامه: khaliji@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰

کلیدواژه:

سیاست‌گذاری شهری،

توسعه ساختار کالبدی فضایی،

شهرهای جدید،

صدرا.

شهرهای جدید در ایران به منظور کاهش فشار جمعیتی بر کلان‌شهرها طراحی شده‌اند، اما تفاوت در اهداف و اجرا، تأثیرات متفاوتی بر ساختار کالبدی آن‌ها گذاشته است. این پژوهش به تحلیل نقش سیاست‌گذاری‌های شهری بر توسعه ساختار کالبدی - فضایی شهر جدید صدرا، واقع در ۱۵ کیلومتری شمال غرب شیراز، می‌پردازد. این مطالعه با روش توصیفی - تحلیلی و رویکرد کاربردی، از پرسش‌نامه و داده‌های میدانی و اسنادی بهره برده و داده‌ها را از طریق پرسشنامه‌ای محقق‌ساخته از ۱۰۰ نفر (اساتید و کارشناسان حوزه برنامه‌ریزی شهری در استان فارس) با توجه به استانداردهای متداول روش رگرسیون تعیین شد تا حجم نمونه کافی برای دستیابی به نتایج معنادار فراهم شود. یافته‌ها نشان می‌دهد سیاست‌گذاری‌های شهری با همبستگی ۰/۶۱۸، ۶۱ درصد از تغییرات ساختار کالبدی - فضایی صدرا را تبیین می‌کنند. عوامل برنامه‌ریزی و سازماندهی (بتا = ۰/۵۰۲)، تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری (بتا = ۰/۲۰۵) و امور اجرایی و خدماتی (بتا = ۰/۰۶۴) به ترتیب بیشترین تأثیر را دارند. شبکه حمل‌ونقل، مشارکت شهروندان و مدیریت پسماند از مهم‌ترین عوامل مؤثر شناخته شدند، در حالی که ضعف در نگهداری فضاهای عمومی و هماهنگی نهادی چالش‌های اصلی هستند. این نتایج با مطالعات جهانی هم‌راستا است و بر ضرورت توجه به پایداری، عدالت فضایی و مشارکت در سیاست‌گذاری تأکید دارد. پیشنهادها شامل تقویت هماهنگی نهادی، بازنگری سیاست‌های زمین، ارتقای مشارکت شهروندان و پایش مستمر سیاست‌هاست. این پژوهش نشان می‌دهد سیاست‌گذاری پیشرفته شهری می‌تواند به توسعه متعادل شهرهای جدید منجر شود، اما موفقیت آن نیازمند رفع ناهماهنگی‌ها و تمرکز بر اجرا است. نتایج برای صدرا و سایر شهرهای جدید ایران قابل تعمیم است و راهنمایی برای سیاست‌گذاری پایدار ارائه می‌دهد.

استناد: شمس‌الدینی، علی؛ کاظمی، سید علیرضا و خلیجی، محمدعلی (۱۴۰۴). تحلیلی بر نقش سیاست‌گذاری‌های شهری بر توسعه ساختار کالبدی فضایی شهرهای جدید (مورد مطالعه: شهر صدرا). *سیاست‌گذاری پیشرفت شهری*، ۲ (۲) ۱۸۹-۲۰۵.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.514536.1027>

© علی شمس‌الدینی، سید علیرضا کاظمی، محمدعلی خلیجی

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.514536.1027>



۱. مقدمه

از دهه ۱۹۹۰ میلادی، جهان شاهد تحولی عظیم در الگوهای شهرنشینی بوده است. بر اساس داده‌های موجود، بین سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۰، هرساله حدود ۵۷ میلیون نفر به جمعیت شهری جهان افزوده شده و این روند از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ به ۷۷ میلیون نفر در سال رسیده است. این افزایش، که به صورت نابرابر در مناطق مختلف جهان توزیع شده، عمدتاً در شهرها متمرکز بوده و به پیچیدگی روزافزون جوامع شهری منجر شده است [۱ و ۲]. این پیچیدگی، همراه با ظهور روابط اجتماعی جدید، افزایش ارتباطات و رقابت‌پذیری، مدیریت و توسعه شهری را به یکی از مسائل حیاتی قرن بیست‌ویکم تبدیل کرده است [۳]. در این میان، شهرها به عنوان کانون‌های اصلی رشد جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی، با چالش‌هایی نظیر تراکم، آلودگی محیط زیست و فشار بر زیرساخت‌ها مواجه شده‌اند که نیازمند توجه ویژه برنامه‌ریزان و مدیران شهری است [۴].

توسعه کالبدی - فضایی شهرها، به عنوان یکی از ابعاد اساسی مدیریت شهری، از اهمیت بسزایی برخوردار است. شناخت ساختار کالبدی - فضایی و عوامل مؤثر بر گسترش آن در دوره‌های مختلف، نه تنها برای درک روندهای گذشته ضروری است، بلکه برای کنترل و هدایت توسعه آینده نیز نقشی تعیین‌کننده دارد [۵]. در کشورهای درحال توسعه، از جمله ایران، شتاب شهرنشینی از میانه‌های قرن بیستم به بعد، به ازهم‌گسیختگی ساختارهای کالبدی شهرها منجر شده است. این وضعیت، به‌ویژه در کلان‌شهرها، با افزایش تقاضا برای خدمات و زیرساخت‌ها همراه بوده و ضرورت اتخاذ رویکردهای نوین در مدیریت شهری را برجسته کرده است [۶].

یکی از راهبردهای به‌کارگرفته‌شده برای مدیریت رشد جمعیت و تمرکززدایی از کلان‌شهرها، احداث شهرهای جدید در پیرامون آن‌ها بوده است. شهرهای جدید که در کشورهای مختلف با اهداف و کارکردهای متفاوتی ایجاد می‌شوند [۷]، در ایران بیشتر به عنوان ابزاری برای کاهش فشار بر مراکز شهری بزرگ مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با این حال، تفاوت‌های آشکاری میان اهداف اولیه این شهرها در سطح جهانی و عملکرد آن‌ها در ایران مشاهده می‌شود. در ایران، به خلاف بسیاری از کشورها که شهرهای جدید را به عنوان سکونت‌گاه‌های ایده‌آل یا مدینه فاضله طراحی می‌کنند، هدف اصلی، انتقال بخشی از جمعیت و فعالیت‌ها از کلان‌شهرها به مناطق پیرامونی بوده است. این تفاوت در رویکرد، تأثیرات متفاوتی بر توسعه کالبدی - فضایی این شهرها به جا گذاشته است.

ساختار کالبدی - فضایی شهرهای جدید، به عنوان یکی از جنبه‌های کلیدی توسعه آن‌ها، تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله سیاست‌گذاری‌های شهری قرار دارد. این ساختار که شامل معماری، بافت شهری، الگوهای گسترش و فضاهای موجود است، نه تنها بر کیفیت زندگی ساکنان تأثیر می‌گذارد [۸]، بلکه با مسائل زیست‌محیطی نظیر آلودگی هوا، ترافیک و تغییر کاربری اراضی نیز ارتباط تنگاتنگی دارد. در این راستا، سیاست‌گذاری شهری به عنوان زیرشاخه‌ای از سیاست‌گذاری عمومی، در دهه‌های اخیر به یکی از ابزارهای اصلی برنامه‌ریزی توسعه شهری تبدیل شده است. سیاست‌گذاری شهری، که در آن دولت مرکزی از طریق وضع قوانین و مقررات، قدرت خود را بر نهادهای محلی اعمال می‌کند، نقش مهمی در شکل‌دهی به ساختارهای شهری ایفا می‌کند. این تأثیر به‌ویژه در شهرهای جدید، که از ابتدا بر اساس برنامه‌ریزی متمرکز طراحی می‌شوند، مشهودتر است [۹ و ۱۰].

سیاست‌گذاری پیشرفته شهری، که مبتنی بر تفکر سیاسی - اجتماعی و الگوهای حکمروایی است، از طریق تعیین چارچوب‌های توسعه، بر فرم و فرایند رشد شهرها اثر می‌گذارد. این سیاست‌ها، از طراحی خیابان‌ها و کاربری زمین گرفته تا نحوه ساخت‌وساز و گسترش فضایی، همگی در تعیین ساختار کالبدی - فضایی شهر نقش دارند [۱۱]. به بیان دیگر، سیاست‌گذاری‌های شهری نه تنها مسیر توسعه را هدایت می‌کنند، بلکه با ایجاد تعادل یا عدم تعادل در توزیع منابع و امکانات، بر پایداری و کارایی شهرها تأثیر می‌گذارند [۱۲]. این ارتباط میان سیاست‌گذاری و ساختار کالبدی - فضایی، به‌ویژه در شهرهای جدید که از ابتدا تحت مدیریت متمرکز شکل گرفته‌اند، از اهمیت بیشتری برخوردار است.

شهر صدرا، به عنوان یکی از شهرهای جدید ایران و مورد مطالعه این پژوهش، در فاصله ۱۵ کیلومتری شمال غرب کلان‌شهر شیراز واقع شده است. طراحی این شهر از اواخر دهه ۱۳۶۰ آغاز شد و پس از تصویب طرح تفصیلی در سال ۱۳۶۹ و طرح جامع در سال ۱۳۷۴، به عنوان جدیدترین شهر استان فارس احداث شد. موقعیت استراتژیک صدرا، در نزدیکی شیراز و در

مسیر خطوط انتقال نفت و گاز به پالایشگاه شیراز، ساختار کالبدی آن را به دو فاز شرقی و غربی تقسیم کرده است. بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵، جمعیت این شهر ۱۲۰ هزار نفر بوده، اما با توجه به رشد سریع ساخت‌وساز، پیش‌بینی می‌شود که این رقم به ۵۲۰ هزار نفر برسد. این توسعه سریع که در چند دهه اخیر رخ داده، ضرورت بررسی نقش سیاست‌گذاری‌های شهری در شکل‌گیری ساختار کالبدی - فضایی صدرا را بیش از پیش آشکار می‌کند.

با توجه به این روند، پرسش اصلی این پژوهش این است که سیاست‌گذاری‌های شهری چگونه بر توسعه ساختار کالبدی - فضایی شهر صدرا اثر گذاشته‌اند؟ به نظر می‌رسد که نوع مدیریت و برنامه‌ریزی اعمال‌شده در این شهر که از ابتدا تحت نظارت دولت مرکزی و نهادهای محلی بوده، نقش کلیدی در تعیین الگوهای توسعه آن ایفا کرده است. این سیاست‌ها، از تخصیص زمین و طراحی زیرساخت‌ها گرفته تا کنترل ساخت‌وساز و گسترش فضایی، همگی بر فرم و کارکرد شهر تأثیر داشته‌اند. از سوی دیگر، چالش‌هایی نظیر افزایش تراکم جمعیتی، فشار بر منابع طبیعی و نیاز به خدمات عمومی، نشان‌دهنده ضرورت بازنگری در سیاست‌گذاری‌های موجود است.

بررسی این مسئله می‌تواند ابعاد مختلفی از مدیریت شهرهای جدید را روشن سازد. نخست، مشخص می‌کند که سیاست‌گذاری‌های شهری تا چه حد توانسته‌اند به اهداف تمرکززدایی و توسعه پایدار دست یابند. دوم، نشان‌دهنده قوت‌ها و ضعف‌های این سیاست‌ها در انطباق با نیازهای محلی و منطقه‌ای است. سوم، با تحلیل تأثیرات کالبدی - فضایی، می‌توان راهکارهایی برای بهبود حکمروایی شهری و ارتقای کیفیت زندگی در شهرهای جدید ارائه داد. در نهایت، این پژوهش تلاش دارد تا با تمرکز بر شهر صدرا، به درک عمیق‌تری از ارتباط میان سیاست‌گذاری پیشرفته شهری و توسعه کالبدی - فضایی دست یابد و از این طریق، به تدوین چارچوب‌هایی برای مدیریت مؤثرتر شهرهای جدید در ایران کمک کند.

به طور خلاصه، این مطالعه با هدف پاسخ به این پرسش که «نقش سیاست‌گذاری‌های شهری بر توسعه ساختار کالبدی - فضایی شهر صدرا چگونه بوده است؟»، به دنبال تحلیل علمی و آکادمیک این موضوع است. نتایج این پژوهش می‌تواند نه تنها برای شهر صدرا، بلکه برای سایر شهرهای جدید ایران که با چالش‌های مشابهی مواجه‌اند، راهگشا باشد و زمینه‌ساز سیاست‌گذاری‌هایی هوشمندانه‌تر و پایدارتر در آینده شود.

در ارتباط با ادبیات تحقیق، سیاست‌گذاری شهری به عنوان یکی از ابزارهای مهم مدیریت و هدایت توسعه شهرها، نقشی محوری در شکل‌دهی به ساختار کالبدی - فضایی آن‌ها ایفا می‌کند. شهرهای جدید، به عنوان راه‌حلی برای پاسخ‌گویی به چالش‌های رشد سریع شهرنشینی و تمرکززدایی از کلان‌شهرها، نیازمند سیاست‌گذاری‌هایی پیشرفته و منسجم هستند که بتوانند تعادل میان ابعاد کالبدی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی را تضمین کنند. در این راستا، شهر صدرا به عنوان یکی از شهرهای جدید ایران که در مجاورت کلان‌شهر شیراز توسعه یافته، نمونه‌ای برجسته برای بررسی تأثیر سیاست‌گذاری‌های شهری بر ساختار کالبدی - فضایی است. این بخش از پژوهش با تکیه بر ادبیات نظری و تجربی موجود، چارچوب علمی و آکادمیک سیاست‌گذاری پیشرفته شهری را تدوین می‌کند و مبانی نظری لازم برای تحلیل مورد مطالعاتی شهر صدرا را ارائه می‌دهد.

سیاست‌گذاری شهری فرایندی چندبعدی است که شامل تدوین قوانین، مقررات، طرح‌ها و برنامه‌های توسعه‌ای می‌شود و هدف آن، هدایت رشد شهرها در راستای اهداف کلان اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی است. این فرایند در شهرهای جدید که اغلب با هدف کاهش فشار جمعیتی بر شهرهای مادر طراحی می‌شوند، از اهمیت بیشتری برخوردار است. توسعه کالبدی - فضایی به عنوان یکی از خروجی‌های مستقیم سیاست‌گذاری، به سازمان‌دهی عناصر فیزیکی شهر نظیر کاربری زمین، زیرساخت‌ها، شبکه‌های حمل‌ونقل و فضاهای عمومی اشاره دارد. ادبیات تحقیق نشان می‌دهد سیاست‌گذاری پیشرفته شهری باید مبتنی بر اصول عقلانیت، مشارکت اجتماعی و پایداری باشد تا بتواند به تعادل در ساختار فضایی منجر شود [۱۳].

عدالت فضایی یکی از مفاهیم کلیدی در سیاست‌گذاری شهری است که بر توزیع عادلانه منابع، خدمات و فرصت‌ها در فضاهای شهری تأکید دارد. سیاست‌گذاری شهری باید ابزارها و راهبردهایی را برای تحقق شهرهای عدالت‌محور طراحی کند. در شهرهای جدید که اغلب با چالش‌هایی نظیر جدایی‌گزینی اجتماعی و نابرابری در دسترسی به خدمات مواجه هستند، توجه به عدالت فضایی در سیاست‌گذاری‌ها امری ضروری است [۱۴].

فرایند سیاست‌گذاری شهری شامل مراحل تنظیم برنامه، تصمیم‌گیری، مشروعیت‌بخشی و اجرا است که هر مرحله بازیگران خاص خود را دارد. در این فرایند، تعامل پیچیده میان افراد، نهادها و منافع شکل می‌گیرد و نتایج آن بر ساختار کالبدی - فضایی شهرها اثر می‌گذارد. نهادگرایان تأکید دارند که مراحل اولیه سیاست‌گذاری تأثیر عمیقی بر خروجی‌های آنی دارد [۱۵]. کنشگران شهری شامل نهادهای دولتی، شوراهای شهر، شرکت‌های مشاور، بخش خصوصی و جامعه مدنی هستند [۱۶] که هر یک بر اساس منابع و جایگاه خود در سیاست‌گذاری اثر می‌گذارند. در صورت فقدان هماهنگی میان این کنشگران، مدیریت شهری ممکن است تحت تأثیر منافع گروه‌های خاص قرار گیرد و به تولید فضاهای ناعادلانه منجر شود. در مقابل، نظام‌های دموکراتیک و مشارکتی می‌توانند از سلطه یک گروه خاص جلوگیری کرده و به توسعه متعادل‌تر کمک کنند [۱۷].

سیاست‌گذاری پیشرفته شهری بر اصولی نظیر شفافیت، مشارکت، تنوع و همه‌شمولی استوار است. این رویکرد در شهرهای جدید باید به گونه‌ای باشد که ضمن پاسخ‌گویی به نیازهای ساکنان، از نابرابری‌های فضایی و کالبدی جلوگیری کند. معیارهایی نظیر برابری در فرصت‌ها، نفی حاشیه‌ای شدن و توافق همگانی از جمله شاخص‌های کلیدی در این راستاست که می‌توانند در تحلیل شهر صدرا مورد استفاده قرار گیرند [۱۸].

شهرهای جدید در ایران، از جمله صدرا، اغلب با چالش‌هایی نظیر وابستگی به شهر مادر، ضعف زیرساخت‌ها و ناکارآمدی سیاست‌های اجرایی مواجه هستند. این شهرها معمولاً به عنوان خوابگاه‌های شهری عمل می‌کنند و فاقد سرزندگی اجتماعی و اقتصادی کافی هستند. سیاست‌گذاری در این زمینه باید از رویکردهای سنتی فاصله گیرد و به سمت مدل‌های مشارکتی و پایدار حرکت کند.

با توجه به ادبیات ارائه‌شده، چارچوب تحلیلی این پژوهش بر سه محور اصلی استوار است: تأثیر سیاست‌گذاری بر ساختار کالبدی - فضایی: بررسی چگونگی تأثیر طرح‌های جامع و تفصیلی بر سازمان‌دهی فضایی شهر صدرا.

عدالت فضایی: تحلیل میزان تحقق معیارهای عدالت کالبدی - فضایی (تنوع، برابری، مشارکت و غیره) در سیاست‌گذاری‌های شهر صدرا.

پایداری کالبدی: ارزیابی هماهنگی میان ابعاد کالبدی، اجتماعی و زیست‌محیطی در توسعه شهر صدرا. ادبیات تحقیق نشان می‌دهد سیاست‌گذاری شهری پیشرفته، با تکیه بر اصول پایداری، عدالت و مشارکت، می‌تواند به توسعه متعادل ساختار کالبدی - فضایی شهرهای جدید منجر شود. در مورد شهر صدرا، این پژوهش با بهره‌گیری از چارچوب نظری ارائه‌شده، به تحلیل نقش سیاست‌گذاری‌ها در شکل‌دهی به ساختار فضایی این شهر پرداخته و قوت‌ها و ضعف‌های آن را شناسایی خواهد کرد. این تحلیل نه تنها به درک بهتر چالش‌های شهرهای جدید در ایران کمک می‌کند، بلکه می‌تواند راهنمایی برای سیاست‌گذاری‌های آتی در این حوزه ارائه دهد.

مطالعات داخلی و خارجی پیرامون موضوع تحقیق انجام یافته است که به شرح زیر است: شریفی و همکاران (۱۴۰۳)، در مقاله «ارزیابی توسعه شهری از منظر سیاست‌گذاری عمومی با تأکید بر نقش شورای اسلامی شهر شیراز» نشان دادند اثر کلی متغیر سیاست‌گذاری شهری با تأکید بر نقش شورای اسلامی شهر بر توسعه شهری ۰/۸۹۹ است که تأثیر بسیار خوب این مدل در تبیین واریانس متغیر ارزیابی توسعه شهری را نشان می‌دهد [۱۹]. علیزاده و همکاران (۱۴۰۳) در مقاله «الگوهای جدید سازماندهی فضا در ارتقای کیفیت معماری شهری؛ گامی نوین در راستای سیاست‌گذاری شهری (نمونه موردی: مشهد)» نشان دادند گسترش، سازگاری و تقویت زبان الگوهای دخیل در معماری شهری شده و ساختارهای پیوندی با کیفیتی رقم می‌خورد که به یکپارچگی و ارتقای ساختار شهر و معماری شهری کمک می‌کند. همچنین، بر نقش مهم پیشرفت‌های نوین فضایی در برنامه‌ریزی و توسعه و سیاست‌گذاری شهری صحنه می‌گذارد و در قیاس با وضعیت موجود منطقه ۱، کارآمدی و نیاز به فرایندهای الگویی به‌دست‌آمده را نشان می‌دهد [۲۰].

قلمبر و شریفی (۱۴۰۲) در پژوهشی با عنوان «تحلیل کیفیت کالبدی مسکن در محلات متأثر از سیاست‌های نوسازی بافت فرسوده شهری - مورد مطالعه: محله وحیدیه تهران» نتیجه گرفتند که معیار زیست‌محیطی و اقتصادی کمترین رتبه را در بین

معیارهای بررسی شده در حوزه تناسب کالبدی داشته است. این معیارها به پایین بودن نرخ شاخص‌هایی همچون فضای سبز داخل ساختمان‌ها، منظر و فضای سبز محله و تناسب قیمت مسکن با شرایط کالبدی ملک در محدوده مورد مطالعه دلالت دارند و اطلاعات عینی نیز این کمبودها را تأیید می‌کند. در تعمیم نتایج این پژوهش، اهمیت توجه به ویژگی‌های کیفی مسکن در سیاست‌گذاری‌های مدیریت و برنامه‌ریزی شهری، برای نیل به رضایتمندی ساکنان، برجسته می‌کند [۲۱].

جونز^۱ و همکاران (۲۰۲۰) طی پژوهشی با عنوان «سیاست‌گذاری شهری و توسعه پایدار در شهرهای جدید؛ مورد مطالعه: شهرهای آسیای شرقی» نقش سیاست‌گذاری‌های شهری در توسعه ساختار کالبدی شهرهای جدید در کشورهای آسیای شرقی مانند سنگاپور و کره جنوبی را بررسی کردند. نویسندگان یادشده بر این موضوع تأکید دارند که سیاست‌های متمرکز بر حمل‌ونقل پایدار و کاربری مختلط زمین، تأثیر مستقیمی بر سازمان‌دهی فضایی و کاهش پراکندگی شهری داشته است. سیاست‌گذاری‌هایی که بر یکپارچگی زیرساخت‌ها و تراکم متعادل تمرکز دارند، می‌توانند ساختار کالبدی شهرهای جدید را به سمت پایداری هدایت کنند. این یافته برای شهر صدر می‌تواند به معنای لزوم توجه به برنامه‌ریزی زیرساخت‌های حمل‌ونقل و کاربری زمین باشد [۲۲]. لی و کیم^۲ (۲۰۲۱) در پژوهشی با عنوان «تأثیر سیاست‌های زمین بر گسترش کالبدی شهرهای جدید: مطالعه موردی سئوگنگام، کره جنوبی» چگونگی تأثیر سیاست‌های مدیریت زمین بر توسعه کالبدی شهر جدید سئوگنگام را تحلیل کردند. نتایج پژوهش یادشده نشان می‌دهد سیاست‌های واگذاری زمین و کنترل قیمت‌ها از سوی دولت، به کاهش رشد افقی بی‌رویه و تقویت ساختار عمودی شهر کمک کرده است. مدیریت متمرکز زمین توسط نهادهای دولتی می‌تواند از پراکندگی کالبدی جلوگیری کرده و به توسعه متعادل شهرهای جدید کمک کند. این موضوع برای صدر که با چالش‌هایی مانند گسترش افقی مواجه است، اهمیت دارد [۲۳].

احمد و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی با عنوان «برنامه‌ریزی شهری و انعطاف‌پذیری کالبدی در شهرهای جدید خاورمیانه»، به بررسی شهرهای جدید در منطقه خاورمیانه، از جمله شهرهایی در امارات متحده عربی و عربستان سعودی، پرداختند و نقش سیاست‌گذاری‌های شهری در افزایش انعطاف‌پذیری کالبدی را تحلیل کردند. تمرکز بر ایجاد فضاهای سبز و شبکه‌های ارتباطی کارآمد از جمله محورهای اصلی بوده است. سیاست‌هایی که بر ایجاد تعادل بین توسعه کالبدی و حفظ محیط زیست تأکید دارند، به انعطاف‌پذیری و پایداری فضایی شهرهای جدید کمک می‌کنند. این می‌تواند برای صدر به عنوان یک شهر جدید در ایران، در جهت بهبود کیفیت فضاهای عمومی و کاهش اثرات زیست‌محیطی مفید باشد [۲۴].

گارسیا^۳ (۲۰۲۳) طی پژوهشی با عنوان «سیاست‌های شهری و تحولات فضایی در شهرهای جدید مکزیکی» به بررسی تأثیر سیاست‌های محلی و ملی بر تحولات کالبدی - فضایی شهرهای جدید در مکزیکی پرداخته است. نتایج پژوهش یادشده نشان می‌دهد هماهنگی بین سیاست‌های محلی و ملی، به‌ویژه در زمینه تأمین مسکن و زیرساخت‌ها، نقشی کلیدی در شکل‌گیری ساختار فضایی منسجم دارد. هماهنگی بین سطوح مختلف سیاست‌گذاری می‌تواند از ناهماهنگی‌های کالبدی جلوگیری کرده و توسعه یکپارچه را تسهیل کند. برای صدر، این یافته بر لزوم همکاری بین مدیریت شهری و سیاست‌های کلان‌کشوری تأکید دارد [۲۵].

براون^۴ و همکاران (۲۰۲۴) پژوهشی با عنوان «ارزیابی سیاست‌های توسعه در شهرهای جدید اروپا: مطالعه تطبیقی» انجام داده‌اند. پژوهشگران این مطالعه به تحلیل سیاست‌های شهری در شهرهای جدید اروپا، مانند میلتن کینز در بریتانیا، پرداخته و تأثیر آن‌ها بر ساختار کالبدی - فضایی را بررسی کرده‌اند. تمرکز بر رشد هوشمند و کاهش وابستگی به خودرو از جمله نتایج کلیدی بوده است. سیاست‌های مبتنی بر رشد هوشمند و کاهش استفاده از خودروهای شخصی، به بهبود دسترسی و انسجام فضایی در شهرهای جدید منجر شده است. این رویکرد می‌تواند برای صدر، با توجه به نیاز به بهبود شبکه معابر و کاهش پراکندگی، راهگشا باشد [۲۶].

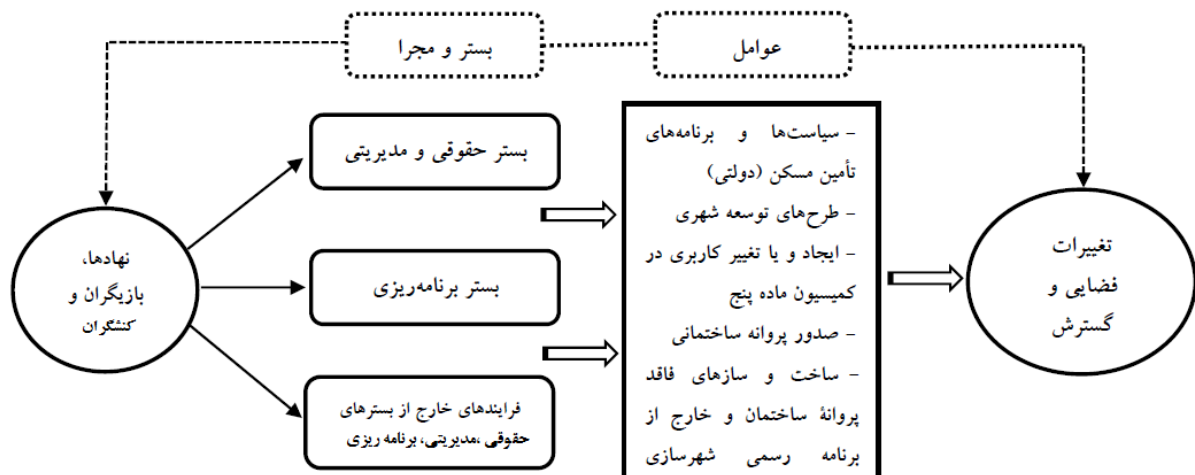
1. Jones

2. Lee & Kim

3. Garcia

4. Brown

بر اساس این تحقیقات خارجی در پنج سال اخیر، می‌توان نتیجه گرفت که سیاست‌گذاری‌های شهری موفق در توسعه ساختار کالبدی - فضایی شهرهای جدید، بر اصولی همچون مدیریت زمین، هماهنگی بین سطوح تصمیم‌گیری، تأکید بر پایداری، و استفاده از رویکردهای رشد هوشمند استوار است. برای شهر صدرا، این یافته‌ها نشان‌دهنده ضرورت بازنگری در سیاست‌های زمین، تقویت زیرساخت‌های حمل‌ونقل پایدار، و ایجاد تعادل بین توسعه کالبدی و نیازهای زیست‌محیطی است. این موارد می‌توانند به کاهش چالش‌هایی مانند پراکندگی افقی، کمبود خدمات، و ناپایداری فضایی در این شهر جدید کمک کنند.



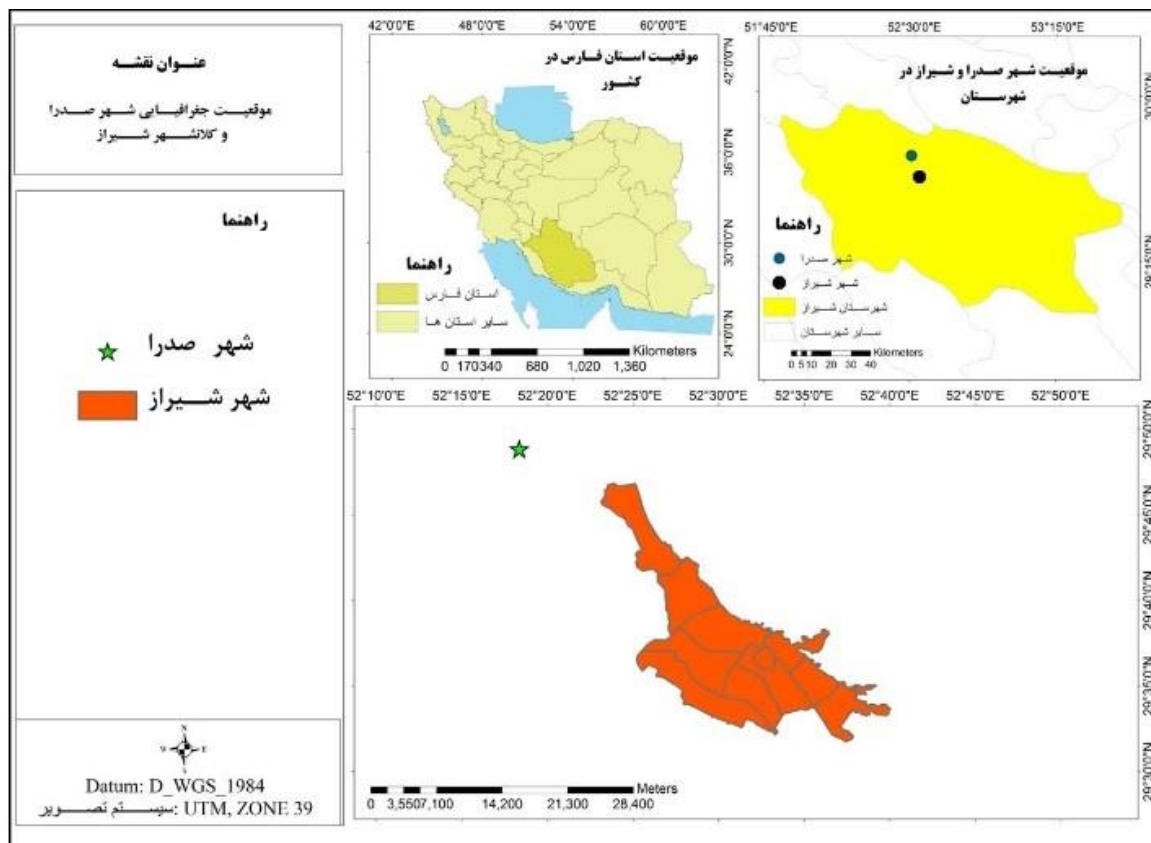
شکل ۱. مدل مفهومی پژوهش

۲. روش‌شناسی

روش تحقیق با توجه به ماهیت آن، توصیفی - تحلیلی و از نظر هدف، کاربردی است. با توجه به اینکه این تحقیق نیز به دنبال بررسی تحلیلی بر نقش سیاست‌گذاری‌های شهری بر توسعه ساختار کالبدی فضایی شهرهای جدید نمونه موردی صدرا است و علاوه بر این، در راستای برنامه‌ریزی به منظور توسعه پایدار شهری نیز متمرکز است، در نوع خود ارزشمند و نتایج آن نیز کاربردی است؛ چراکه هدف، شناخت وضعیت موجود و در مرحله بعد، ارائه راهکار و توسعه مدیریت پایدار شهری است. جامعه آماری این پژوهش را خبرگان برنامه‌ریزی شهری و شهرسازی استان فارس تشکیل داده‌اند. به طور تصادفی، ۱۰۰ نفر در استان فارس که از دانشگاه‌ها و سازمان‌های این شهر هستند. در این تحقیق از نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده شده است. این فرایند از طریق پرسشنامه‌ای که در اختیار نمونه قرار خواهد گرفت، انجام می‌شود. در این تحقیق، برای جمع‌آوری داده‌ها از پرسشنامه محقق‌ساخته استفاده خواهد شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها فرایندی چندمرحله‌ای است که طی آن داده‌هایی که از طریق به‌کارگیری ابزارهای جمع‌آوری در نمونه فراهم آمده‌اند خلاصه، کدگذاری و دسته‌بندی و درنهایت پردازش می‌شوند تا زمینه برقراری انواع تحلیل‌ها و ارتباطها بین این داده‌ها به منظور پاسخ به سؤالات فراهم آید. در این فرایند داده‌ها هم از لحاظ مفهومی و هم از جنبه تجربی پالایش می‌شوند و تکنیک‌های گوناگون آماری نقش بسزایی در استنتاجها و تعمیم‌ها به عهده دارند. پس از جمع‌آوری لازم، داده‌های خام گردآوری شده وارد نرم‌افزار SPSS شده و درنهایت بر اساس داده‌های خام وارد شده در نرم‌افزار، اطلاعات حاصل از پرسش‌نامه‌ها در دو بخش توصیفی و استنباطی به دست آمد. در این تحقیق از آمار توصیفی به منظور توصیف جامعه آماری وضعیت موجود و از آمار استنباطی برای بررسی و تعیین ارتباط بین متغیرها استفاده می‌شود. با استفاده از این دو نوع اطلاعات، تجزیه و تحلیل و آزمون فرضیه‌ها و همچنین، نتایج متناسب با اهداف و فرضیه‌های تحقیق انجام می‌گیرد.

با توجه به روش تحقیق توصیفی - تحلیلی و جامعه آماری متشکل از خبرگان برنامه‌ریزی شهری استان فارس، این مطالعه به بررسی تأثیر سیاست‌گذاری‌های شهری بر ساختار کالبدی - فضایی شهرهای جدید می‌پردازد که در این راستا، شهر صدرا به

عنوان نمونه موردی انتخاب شده است. شهر صدرا در پیرامون کلان‌شهر شیراز در استان فارس قرار دارد. طراحی این شهر و تحقیقات پیرامون آن اوایل سال ۱۳۶۸ آغاز شد. شهر صدرا در پیرامون کلان‌شهر شیراز در استان فارس قرار دارد. طراحی شهر صدرا و تحقیقات پیرامون این طرح، اوایل سال ۱۳۶۸ آغاز شد. این تحقیقات بر پایه موقعیت کلان‌شهر شیراز، شهرهای اطراف و دورنمای اقتصادی بود. طرح تفصیلی شهر صدرا در شیراز در سال ۱۳۶۹ و طرح جامع شهر در بهمن‌ماه ۱۳۷۴ به تصویب شورای عالی شهرسازی و معماری کشور رسید. در نهایت شهر صدرا به عنوان جدیدترین شهر استان فارس احداث شد. شهر جدید صدرا در منطقه خوش‌آب‌وهوای آهوچر که بیشتر از ۳۰۰ متر مرتفع‌تر از شیراز است، مکان‌یابی و احداث شده است. شهر صدرا در فاصله ۱۵ کیلومتری شمال غرب کلان‌شهر شیراز قرار گرفته است. در واقع، مناطق مسکونی شهر جدید صدرا به دو فاز مجزا تقسیم شده است. فاز اول قسمت شرق و فاز دوم در قسمت غرب شهر قرار گرفته است. این مدل قرارگیری مسکونی، به علت عبور خطوط انتقال لوله‌های نفت و گاز از درون شهر به سمت پالایشگاه شیراز است. جمعیت شهر جدید صدرا بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵، ۱۲۰ هزار نفر اعلام شده است، اما با توجه به پیشرفت سریع شهر و روند روبه‌رشد ساخت‌وساز، تخمین زده می‌شود که جمعیت شهر صدرا به ۵۲۰ هزار نفر نیز افزایش یابد.



شکل ۲. موقعیت جغرافیای شهر صدرا و کلان‌شهر شیراز

منبع: نگارندگان

۳. نتایج

سیاست‌گذاری‌های شهری نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری و توسعه ساختار کالبدی - فضایی شهرها دارند. این پژوهش با بررسی شهر جدید صدرا، تأثیر عوامل مختلف سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی، و اجرایی را بر توسعه این شهر تحلیل کرده است. یافته‌های توصیفی ارائه‌شده در جدول‌های ۱ تا ۳ نشان می‌دهد چگونه هر یک از این عوامل به صورت کمی بر روند توسعه شهری تأثیر گذاشته‌اند. جدول ۱ به بررسی توصیفی عوامل تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری مدیریت شهری پرداخته است که شامل ۱۰ عامل کلیدی می‌شود. میانگین این عوامل بین ۳/۴۵۰ (سیاست‌های زمین‌شهری) و ۴/۳۰۰ (مشارکت شهروندان) متغیر است

که تأثیر قابل توجه این عوامل بر توسعه کالبدی - فضایی شهر صدرا را نشان می‌دهد. بیشینه میانگین (۴/۳۰۰) مربوط به مشارکت شهروندان است که با انحراف معیار ۱/۰۴۹ نشان‌دهنده پراکندگی متعادل پاسخ‌ها و اهمیت بالای نقش شهروندان در فرایند تصمیم‌گیری است. کمینه میانگین (۳/۴۵۰) به سیاست‌های زمین‌شهری اختصاص دارد که با انحراف معیار بالاتر (۱/۳۲۹)، حاکی از تنوع بیشتر نظرات در این زمینه است. ضریب تغییرات (انحراف معیار تقسیم بر میانگین) برای این عوامل بین ۰/۲۰۶ (مدیریت بحران‌های شهری) و ۰/۳۸۷ (سیاست‌های زمین‌شهری) قرار دارد که نشان می‌دهد مدیریت بحران‌های شهری از کمترین پراکندگی نسبی و سیاست‌های زمین‌شهری از بیشترین پراکندگی برخوردارند. توزیع فراوانی نیز تأیید می‌کند که گزینه‌های «زیاد» و «خیلی زیاد» غالب هستند، به‌ویژه در عواملی مانند مشارکت شهروندان (۶۳ مورد خیلی زیاد) و مدیریت بحران‌های شهری (۶۹ مورد زیاد) که نشان‌دهنده اجماع نسبی بر اهمیت این عوامل است.

جدول ۱. بررسی توصیفی عوامل تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری مدیریت شهری بر روند توسعه فضایی - کالبدی

عوامل	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	شاخص مرکزی	
						میانگین	انحراف معیار
سطح تمرکز یا عدم تمرکز در تصمیم‌گیری	۵	۱۱	۸	۶۴	۱۲	۳/۶۷۰	۰/۹۹۵
شفافیت سیاست‌گذاری	۱	۱۵	۲۶	۵۰	۸	۳/۴۹۰	۰/۸۸۲
هماهنگی بین‌بخشی	۴	۹	۱۷	۶۳	۷	۳/۶	۰/۸۹۹
مشارکت شهروندان	۲	۵	۱۷	۱۳	۶۳	۰/۷۵	۱/۰۴۹
اولویت‌بندی توسعه پایدار	۴	۱۰	۵	۴۴	۳۷	۴	۱/۰۹۲
تخصیص بودجه	۹	۱۳	۹	۴۲	۲۷	۳/۶۵۰	۱/۲۵۸
سیاست‌های زمین‌شهری	۱۴	۴	۴	۴۹	۱۹	۳/۴۵۰	۱/۳۲۹
توجه به هویت محلی	۴	۸	۷	۳۷	۴۴	۴/۰۹۰	۱/۰۹۳
مدیریت بحران‌های شهری	۲	۶	۹	۶۹	۱۴	۳/۸۷۰	۰/۸
چشم‌انداز بلندمدت	۵	۱۷	۲۷	۱۲	۳۰	۰/۶۳	۱/۲۹۲

جدول ۲ عوامل برنامه‌ریزی و سازماندهی را مورد بررسی قرار داده که میانگین آن‌ها بین ۳/۲۶۰ (هماهنگی نهادی) و ۴/۳۶۰ (شبکه حمل‌ونقل) متغیر است. بیشینه میانگین (۴/۳۶۰) مربوط به برنامه‌ریزی زیرساخت‌های حمل‌ونقل است که با انحراف معیار ۱/۰۴۰، نشان‌دهنده تأثیر برجسته این عامل و اجماع نسبی در پاسخ‌هاست. کمینه میانگین (۳/۲۶۰) به هماهنگی نهادی اختصاص دارد که با انحراف معیار بالا (۱/۴۱۱)، بیانگر پراکندگی قابل توجه نظرات و احتمال ضعف در یکپارچگی سازمانی است. ضریب تغییرات در جدول ۲ از ۰/۲۱۹ (شبکه حمل‌ونقل) تا ۰/۴۳۳ (هماهنگی نهادی) متغیر است که نشان‌دهنده کمترین تنوع نسبی در شبکه حمل‌ونقل و بیشترین تنوع در هماهنگی نهادی است. توزیع فراوانی نیز حاکی از غلبه گزینه‌های «زیاد» و «خیلی زیاد» است، به‌ویژه در شبکه حمل‌ونقل (۶۴ مورد خیلی زیاد) و پایش و ارزیابی (۵۲ مورد زیاد) که بر اهمیت این عوامل در سازماندهی فضایی شهر صدرا تأکید دارد.

جدول ۲. بررسی توصیفی عوامل برنامه‌ریزی و سازماندهی مدیریت شهری بر روند توسعه فضایی - کالبدی شهر

عوامل	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	شاخص مرکزی	
						میانگین	انحراف معیار
طرح جامع شهری	۱۴	۹	۱۲	۴۷	۱۸	۳/۴۶۰	۱/۲۸۳
برنامه‌ریزی کاربری زمین	۵	۱۶	۲۴	۳۱	۲۴	۲/۵۳۰	۱/۱۶۷
مدیریت تراکم شهری	۲	۶	۷	۵۳	۳۲	۴/۰۷۰	۰/۹۰۲
شبکه حمل‌ونقل	۴	۲	۱۲	۱۸	۶۴	۴/۳۶۰	۱/۰۴۰
فضاهای سبز و عمومی	۶	۸	۸	۳۷	۴۱	۳/۹۹۰	۱/۱۶۸
مدیریت منابع انسانی	۹	۲۲	۴	۵۱	۱۴	۳/۳۹۰	۱/۲۳۰
هماهنگی نهادی	۱۱	۲۹	۱۰	۲۳	۲۷	۳/۲۶۰	۱/۴۱۱
پایش و ارزیابی	۲	۹	۸	۵۲	۲۹	۳/۹۷۰	۰/۹۵۸
انعطاف‌پذیری طرح‌ها	۳	۹	۲۱	۴۳	۲۴	۳/۷۶۰	۱/۰۱۶
استفاده از فناوری نوین	۲	۷	۲۱	۶۱	۹	۳/۶۸۰	۰/۸۱۵

جدول ۳ به عوامل اجرایی و خدماتی مدیریت شهری پرداخته است که میانگین آن‌ها بین ۲/۹۶۰ (نگهداری فضاهای عمومی) و ۴/۱۱۰ (مدیریت پسماند) قرار دارد. بیشینه میانگین (۴/۱۱۰) مربوط به مدیریت پسماند است که با انحراف معیار ۱/۰۹۱، نشان‌دهنده تأثیر مثبت این عامل و پراکندگی متعادل پاسخ‌هاست. کمینه میانگین (۲/۹۶۰) به نگهداری فضاهای عمومی اختصاص دارد که با انحراف معیار ۱/۱۶۳، حاکی از ضعف نسبی در این حوزه و تنوع نظرات است. ضریب تغییرات بین ۰/۲۶۵ (مدیریت پسماند) و ۰/۳۹۳ (نگهداری فضاهای عمومی) متغیر است که نشان می‌دهد مدیریت پسماند از کمترین پراکندگی نسبی و نگهداری فضاهای عمومی بیشترین پراکندگی را دارد. توزیع فراوانی نیز نشان می‌دهد گزینه‌های «زیاد» و «خیلی زیاد» در عواملی مانند مدیریت پسماند (۴۶ مورد خیلی زیاد) و خدمات اجتماعی (۳۷ مورد زیاد) غالب هستند که تأییدکننده تأثیرگذاری این عوامل بر توسعه کالبدی - فضایی است.

جدول ۳. بررسی توصیفی عوامل امور اجرایی و خدماتی مدیریت شهری بر روند توسعه فضایی - کالبدی

عوامل	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	شاخص مرکزی	
						انحراف معیار	میانگین
کیفیت زیرساخت‌ها	۷	۲۳	۲۱	۲۶	۲۳	۳/۳۵۰	۱/۲۵۸
خدمات حمل‌ونقل عمومی	۱۱	۱۴	۱۸	۴۲	۱۵	۳/۳۶۰	۱/۲۱۹
مدیریت پسماند	۴	۷	۹	۳۴	۴۶	۴/۱۱۰	۱/۰۹۱
تأمین مسکن	۱۲	۲	۱۶	۴۰	۳۰	۳/۷۴۰	۱/۲۵۲
خدمات اجتماعی	۲	۹	۲۰	۳۷	۳۲	۳/۸۸۰	۱/۰۲۸
اجرای پروژه‌های عمرانی	۱۴	۹	۲۴	۲۶	۲۷	۳/۴۳۰	۱/۳۵۰
نگهداری فضاهای عمومی	۸	۳۴	۲۳	۲۴	۱۱	۲/۹۶۰	۱/۱۶۳
پاسخ‌گویی به نیازهای فوری	۱۱	۱۵	۹	۴۵	۲۰	۳/۴۸۰	۱/۲۷۵
تأمین امنیت	۹	۷	۳۰	۳۳	۲۱	۳/۵	۱/۱۶۸
مدیریت منابع مالی اجرایی	۳	۱۷	۹	۳۲	۳۹	۳/۸۷۰	۱/۱۹۵

مقایسه حداقل و حداکثر میانگین‌ها در هر سه جدول نشان می‌دهد تمامی عوامل بررسی‌شده دارای میانگینی بالاتر از حد متوسط (۳) هستند که بیانگر تأثیر مثبت و معنادار آن‌ها بر توسعه فضایی - کالبدی شهر جدید صدرا است. انحراف معیارها و ضرایب تغییرات نیز نشان‌دهنده تنوع پاسخ‌ها و تفاوت در سطح اجماع درباره هر عامل است. توزیع فراوانی با غلبه گزینه‌های «زیاد» و «خیلی زیاد» این یافته را تقویت می‌کند که سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی و خدمات اجرایی مدیریت شهری به صورت یکپارچه در شکل‌دهی به ساختار کالبدی - فضایی شهر صدرا نقش دارند. این تحلیل آماری، پایه‌ای محکم برای تدوین راهبردهای توسعه پایدار و بهبود مدیریت شهری در شهرهای جدید فراهم می‌آورد.

برای تحلیل نقش عوامل و سیاست‌گذاری‌های شهری بر توسعه ساختار کالبدی - فضایی شهر صدرا از همبستگی و رگرسیون استفاده شده است.

تحلیل واریانس مدل رگرسیونی نشان می‌دهد میزان خطای آلفای (Sig) تحلیل واریانس مدل رگرسیونی کمتر از میزان خطای قابل قبول (۰/۰۵) و برابر با ۰/۰۰۰ است و لذا بین عوامل و سیاست‌گذاری‌های شهری و توسعه ساختار کالبدی - فضایی شهر صدرا در سطح اطمینان بالای ۹۹ درصد رابطه معنادار وجود دارد و علاوه بر این عوامل و سیاست‌گذاری‌های شهری بر توسعه ساختار کالبدی - فضایی شهر صدرا تأثیرگذار هستند.

جدول ۴. آزمون معناداری رگرسیونی مدل نقش سیاست‌گذاری‌های شهری بر توسعه ساختار کالبدی - فضایی

مدل	مجموع مربعات	درجه آزادی	Mean Square	توزیع F	سطح معناداری
رگرسیون	۵۷/۲۵	۳	۱۹/۰۸۴		
باقی‌مانده	۹۲/۵۳	۹۶	۰/۹۶۴	۱۹/۷۹۸	۰/۰۰۰
مجموع	۱۴۹/۷۹	۹۹	*		

بر اساس جدول ۴ نیز مشاهده می‌شود، میزان همبستگی بین عوامل و سیاست‌گذاری‌های شهری و همچنین توسعه ساختار کالبدی - فضایی شهر صدرا برابر با ۰/۶۱۸ است که یک همبستگی مستقیم به شمار می‌آید. عوامل بررسی‌شده، در مجموع توان تبیین ۶۱ درصد از تغییرات (واریانس)، توسعه ساختار فضایی - کالبدی را دارند و حدود ۳۹ درصد از تغییرات این موضوع توسط عوامل یا شاخص‌های دیگر تبیین می‌شود. مقدار ضریب تعیین برابر با ۰/۳۸۲ است در حالی که ضریب تعیین اصلاح‌شده برابر با ۰/۳۶۳ بوده است. بنابراین، عوامل به کاررفته در مدل توانسته‌اند به خوبی عمل کنند و برازش مناسبی ارائه دهند.

جدول ۵. تبیین تغییرات متغیر وابسته (ساختار کالبدی - فضایی) از طریق عوامل و سیاست‌گذاری‌های شهری

مدل	رگرسیون	ضریب تعیین	ضریب تعیین تعدیل‌شده	خطای برآورد
۱	۰/۶۱۸	۰/۳۸۲	۰/۳۶۳	۰/۹۸۱۸۰

میزان قدرت عوامل و سیاست‌گذاری‌های شهری بر توسعه ساختار کالبدی - فضایی شهر صدرا نیز یکسان نیست. البته جهت آن‌ها یکسان و مثبت است.

عوامل برنامه‌ریزی و سازماندهی مدیریت شهری با مقدار بتا برابر با ۰/۵۰۲ بیشترین تأثیرگذاری را بر توسعه ساختار فضایی - کالبدی شهر صدرا داشته است. همچنین، عوامل تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری مدیریت شهری با تبیین ۰/۲۰۵ در رتبه دوم شناخته شده است. عوامل امور اجرایی و خدماتی مدیریت شهری نیز با مقدار بتا ۰/۰۶۴ در رتبه سوم قرار گرفته است. بنابراین، بیشترین نقش در میان عوامل بر توسعه ساختار فضایی - کالبدی شهر صدرا مربوط به عوامل برنامه‌ریزی و سازماندهی مدیریت شهری و سپس، عوامل تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری مدیریت شهری بوده است. در این راستا باید تمرکز روی عوامل مختلف برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری در سطوح مختلف باشد.

جدول ۶. آماره‌های ضرایب مدل رگرسیونی متغیر مستقل (عوامل و سیاست‌گذاری‌های شهری)

معناداری	آزمون تی	ضرایب غیر استاندارد		مدل
		ضرایب استاندارد شده	خطای استاندارد	
۰/۰۰۰	۳/۶۴۳	بتا	۱/۳۹۰	ثابت
۰/۰۳۰	۲/۲۰۰	۰/۲۰۵	۰/۲۶۶	عوامل تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری مدیریت شهری
۰/۰۰۰	۵/۲۲۴	۰/۵۰۲	۰/۲۹۲	عوامل برنامه‌ریزی و سازماندهی مدیریت شهری
۰/۰۴۰	۰/۷۶۲	۰/۰۶۴	۰/۱۸۸	عوامل امور اجرایی و خدماتی مدیریت شهری

نتیجه نشان داد عوامل مختلفی در ساختار کالبدی - فضایی تأثیرگذار هستند. تعیین حدود و تهیه نقشه جامع شهرسازی برای شهر و حریم آن و مقررات؛ تعامل شهرداری و شورا با شهروندان برای استفاده از نظرات مردم در حل مسائل شهر یا اختصاص پروژه‌های شهری؛ وضعیت بهسازی و مقاوم‌سازی مسکن و محلات؛ رعایت ضوابط مربوط به حفظ منابع طبیعی و باغ‌های واقع در محدوده و حریم شهر از سوی و همچنین، حمایت شهرداری و شورای شهر از تشکیل سازمان‌های خودجوش و مردمی در موضوعات مختلف شهری از مهم‌ترین عوامل در این زمینه شناخته شده‌اند.

میزان همبستگی بین عوامل و سیاست‌گذاری‌های شهری و همچنین توسعه ساختار کالبدی - فضایی شهر صدرا برابر با ۰/۶۱۸ است که یک همبستگی مستقیم به شمار می‌آید. عوامل بررسی‌شده در این پژوهش در مجموع توان تبیین ۶۱ درصد از تغییرات (واریانس)، توسعه ساختار فضایی - کالبدی را دارند. در این زمینه عوامل برنامه‌ریزی و سازماندهی مدیریت شهری با مقدار بتا برابر با ۰/۵۰۲ بیشترین تأثیرگذاری را بر توسعه ساختار فضایی - کالبدی شهر صدرا داشته است. همچنین، عوامل تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری مدیریت شهری با تبیین ۰/۲۰۵ در رتبه دوم شناخته شده است. عوامل امور اجرایی و خدماتی مدیریت شهری نیز با مقدار بتا ۰/۰۶۴ در رتبه سوم قرار گرفته است.

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پژوهش حاضر با هدف تحلیل نقش سیاست‌گذاری‌های شهری بر توسعه ساختار کالبدی - فضایی شهر جدید صدرا، به عنوان یکی از شهرهای جدید ایران، انجام شد. یافته‌های این مطالعه نشان داد سیاست‌گذاری‌های شهری به صورت مستقیم و معنادار بر شکل‌گیری و تحولات کالبدی - فضایی این شهر تأثیر گذاشته‌اند. این تأثیر از طریق سه دسته عوامل اصلی شامل تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی و سازماندهی، و امور اجرایی و خدماتی مدیریت شهری قابل بررسی است. نتایج آماری، با همبستگی ۰/۶۱۸ و ضریب تعیین ۰/۳۸۲، تأیید می‌کند که این عوامل در مجموع ۶۱ درصد از تغییرات ساختار کالبدی - فضایی شهر صدرا را تبیین می‌کنند. این یافته‌ها با مطالعات پیشین نظیر جونز و همکاران (۲۰۲۰) و لی و کیم (۲۰۲۱) هم‌راستا است که بر نقش سیاست‌گذاری‌های متمرکز و مدیریت زمین در توسعه پایدار شهرهای جدید تأکید دارند.

در محور تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری، عواملی مانند مشارکت شهروندان (میانگین ۴/۳۰۰) و توجه به هویت محلی (میانگین ۴/۰۹۰) از بالاترین میانگین‌ها برخوردار بودند. این امر نشان‌دهنده اهمیت درگیر کردن جامعه محلی و انعکاس فرهنگ بومی در فرایندهای سیاست‌گذاری است. با این حال، سیاست‌های زمین‌شهری با میانگین ۳/۴۵۰ و انحراف معیار بالا (۱/۳۲۹) نشان‌دهنده ضعف در هماهنگی و شفافیت این حوزه است. این نتایج با پژوهش احمد و همکاران (۲۰۲۲) هم‌خوانی دارد که بر ضرورت تعادل بین توسعه کالبدی و نیازهای زیست‌محیطی در شهرهای جدید خاورمیانه تأکید کرده‌اند. در مورد صدرا، ضعف در سیاست‌های زمین می‌تواند به گسترش افقی بی‌رویه و فشار بر منابع طبیعی منجر شده باشد.

در حوزه برنامه‌ریزی و سازماندهی، شبکه حمل‌ونقل (میانگین ۴/۳۶۰) و مدیریت تراکم شهری (میانگین ۴/۰۷۰) به عنوان تأثیرگذارترین عوامل شناسایی شدند. این یافته‌ها با مطالعه براون و همکاران (۲۰۲۴) هم‌راستا است که بر نقش رشد هوشمند و کاهش وابستگی به خودرو در انسجام فضایی شهرهای جدید تأکید دارد. با این حال، هماهنگی نهادی با میانگین ۳/۲۶۰ و انحراف معیار ۱/۴۱۱ نشان‌دهنده چالش‌های موجود در یکپارچگی سازمانی است. این موضوع در شهر صدرا که تحت مدیریت متمرکز دولتی طراحی شده، می‌تواند به ناهماهنگی در اجرای طرح‌های جامع و تفصیلی منجر شده باشد. مقایسه با مطالعه گارسیا (۲۰۲۳) نیز نشان می‌دهد هماهنگی بین سطوح مختلف سیاست‌گذاری برای توسعه یکپارچه ضروری است.

در بخش امور اجرایی و خدماتی، مدیریت پسماند (میانگین ۴/۱۱۰) و خدمات اجتماعی (میانگین ۳/۸۸۰) از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بودند، در حالی که نگهداری فضاهای عمومی با میانگین ۲/۹۶۰ کمترین امتیاز را کسب کرد. این یافته‌ها حاکی از آن است که اگرچه برخی خدمات زیرساختی در صدرا به‌خوبی اجرا شده‌اند، اما ضعف در نگهداری فضاهای عمومی می‌تواند کیفیت زندگی ساکنان را تحت تأثیر قرار دهد. این نتیجه با پژوهش شریفی و همکاران (۱۴۰۳) هم‌سو است که بر اهمیت توجه به ویژگی‌های کیفی در سیاست‌گذاری‌های شهری تأکید دارد.

تحلیل رگرسیون نشان داد عوامل برنامه‌ریزی و سازماندهی (بتا = ۰/۵۰۲) بیشترین تأثیر را بر توسعه ساختار کالبدی - فضایی صدرا دارند، در حالی که عوامل اجرایی و خدماتی (بتا = ۰/۰۶۴) کمترین نقش را ایفا می‌کنند. این تفاوت در تأثیرگذاری نشان می‌دهد سیاست‌گذاری پیشرفته شهری در صدرا بیشتر در مرحله برنامه‌ریزی متمرکز بوده و اجرای مؤثر این برنامه‌ها با چالش‌هایی مواجه است. این موضوع با ادبیات نظری پژوهش هم‌راستا است که سیاست‌گذاری پیشرفته را فرایندی چندبعدی می‌داند که نیازمند تعادل بین برنامه‌ریزی، اجرا و نظارت است. از منظر عدالت فضایی، یافته‌ها نشان می‌دهد سیاست‌گذاری‌ها در صدرا تا حدی در توزیع خدمات موفق بوده‌اند، اما ضعف در نگهداری فضاهای عمومی و هماهنگی نهادی می‌تواند به نابرابری‌های فضایی منجر شود. این امر با دیدگاه موراندل و همکاران (۲۰۲۵) سازگار است که بر ضرورت توجه به عدالت فضایی در سیاست‌گذاری‌های شهری جدید تأکید دارند. همچنین، از منظر پایداری، تمرکز بر حمل‌ونقل و مدیریت پسماند نشان‌دهنده تلاش برای پایداری زیست‌محیطی است، اما ضعف در سیاست‌های زمین و فضاهای سبز بیانگر نیاز به بازنگری در این حوزه‌هاست.

به طور کلی، این پژوهش تأیید می‌کند که سیاست‌گذاری پیشرفته شهری، با تکیه بر اصول مشارکت، پایداری و هماهنگی، می‌تواند به توسعه متعادل ساختار کالبدی - فضایی شهرهای جدید منجر شود. با این حال، در مورد صدرا، چالش‌هایی نظیر

ناهماهنگی نهادی، ضعف در اجرای سیاست‌ها و ناکافی بودن توجه به کیفیت فضاهای عمومی، مانع از تحقق کامل اهداف اولیه این شهر جدید شده است. این نتایج نه تنها برای صدارا، بلکه برای سایر شهرهای جدید ایران که با مسائل مشابهی مواجه‌اند، قابل تعمیم است.

با توجه به یافته‌ها و بحث‌های ارائه‌شده، پیشنهادهای زیر برای بهبود سیاست‌گذاری پیشرفته شهری و توسعه ساختار کالبدی - فضایی شهر صدارا و سایر شهرهای جدید ایران ارائه می‌شود:

تقویت هماهنگی نهادی و تمرکززدایی در سیاست‌گذاری: پیشنهاد می‌شود که اختیارات بیشتری به نهادهای محلی واگذار شود و مکانیزم‌های مشخصی برای هماهنگی بین سازمان‌های دولتی، خصوصی و عمومی طراحی شود. ایجاد شوراهای مشترک بین شهرداری صدارا، شرکت عمران و نهادهای استانی می‌تواند به یکپارچگی برنامه‌ریزی و اجرا کمک کند.

ارتقای مشارکت شهروندان در فرایند تصمیم‌گیری: با توجه به میانگین بالای مشارکت شهروندان در یافته‌ها، پیشنهاد می‌شود که سازوکارهای رسمی مانند نظرسنجی‌های دوره‌ای، جلسات عمومی و پلتفرم‌های دیجیتال برای جلب نظرات ساکنان ایجاد شود. این امر می‌تواند به انعکاس بهتر نیازهای محلی و افزایش حس تعلق به شهر منجر شود.

بازنگری در سیاست‌های زمین و کاربری‌ها: با توجه به ضعف در سیاست‌های زمین شهری، پیشنهاد می‌شود که مقررات سخت‌گیرانه‌تری برای جلوگیری از گسترش افقی بی‌رویه وضع شود و کاربری مختلط زمین (مسکونی، تجاری، خدماتی) برای کاهش پراکندگی فضایی ترویج شود.

بهبود مدیریت و نگهداری فضاهای عمومی: برای رفع ضعف در نگهداری فضاهای عمومی، پیشنهاد می‌شود که بودجه مشخصی برای این حوزه تخصیص یابد و مشارکت بخش خصوصی و سازمان‌های مردم‌نهاد در مدیریت پارک‌ها و معابر عمومی تشویق شود. این اقدام می‌تواند کیفیت زندگی ساکنان را بهبود بخشد.

پایش و ارزیابی مستمر سیاست‌ها: با توجه به اهمیت پایش در یافته‌ها، پیشنهاد می‌شود که سازوکارهای نظارتی دائمی برای ارزیابی پیشرفت طرح‌ها و انعطاف‌پذیری آن‌ها در برابر تغییرات جمعیتی و اقتصادی ایجاد شود. استفاده از فناوری‌های نوین مانند GIS می‌تواند دقت این پایش را افزایش دهد.

تدوین چشم‌انداز بلندمدت با رویکرد رشد هوشمند: پیشنهاد می‌شود که برنامه‌ای راهبردی با افق ۲۰ تا ۳۰ ساله برای صدارا تدوین شود که بر اصول رشد هوشمند، کاهش پراکندگی و افزایش انعطاف‌پذیری کالبدی تأکید داشته باشد.

در نهایت، این پژوهش پیشنهاد می‌کند که سیاست‌گذاری پیشرفته شهری در ایران از مدل‌های سنتی متمرکز به سمت الگوهای مشارکتی و پایدار حرکت کند. نتایج این مطالعه می‌تواند به عنوان راهنمایی برای مدیران شهری و سیاست‌گذاران در راستای توسعه مؤثرتر و هوشمندانه‌تر شهرهای جدید مورد استفاده قرار گیرد. تحقیقات آتی می‌توانند با تمرکز بر مقایسه تطبیقی صدارا با سایر شهرهای جدید ایران یا جهان، ابعاد بیشتری از این موضوع را روشن سازند.

منابع

1. Webber MM. Explorations into urban structure: University of Pennsylvania Press; 2016.
2. Costa C, Lee S. The evolution of urban spatial structure in Brasília: Focusing on the role of urban development policies. *Sustainability*. 2019;11(2):553.
3. Taghadous MJ, Nastaran M, Zebardast E, Basirat M. Futures Study of the role of New Towns in Establishing of the Balance of Physical Space Structure in Metropolitans with Land Survey Approach and policies. *Quarterly Journal of The Macro and Strategic Policies*. 2021;8(32):772-94.
4. Aeeni M. Analyzing the Urban Management Challenges of the New Iranian Towns Based on Structural Equation Modeling (SEM). *Journal of Urban and Regional Development Planning*. 2019;4(9):115-46.
5. Alipouremail H, Sobhani N. Analysis of the position of new cities in the Tehran metropolitan space system. *Journal of Urban Management Studies*. 2018;9(32):101-16.
6. marvi mn, eghbali n, hataminejad h. Explanation of the Iranian New Towns First Generation Management with approach Good Urban Governance from the Point of View of Country Subdivisions. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*. 2020;10(35):1-26.
7. Pashakolaei KV, Rezvani A, Piri S. A strategic analysis of the sustainable development situation of the new city of Parand. *Quarterly Journal of Human Geography*. 2021;13(2):663-82.
8. Anas A, Arnott R, Small KA. Urban spatial structure. *Journal of economic literature*. 1998;36(3):1426-64.
9. Musterd S, Gritsai O. The creative knowledge city in Europe: Structural conditions and urban policy strategies for competitive cities. *European Urban and Regional Studies*. 2013;20(3):343-59.
10. Krehl A, Siedentop S, Taubenböck H, Wurm M. A comprehensive view on urban spatial structure: Urban density patterns of German city regions. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2016;5(6):76.
11. Brandellero A, Naclerio E. Regenerating urban cultural policy: insights on the role of crafts and small-scale production in three European cities' visions. *International Journal of Cultural Policy*. 2025;31(4):467-81.
12. Wei YHD. Restructuring for growth in urban China: Transitional institutions, urban development, and spatial transformation. *Habitat international*. 2012;36(3):396-405.
13. Shen J, Yu J, Zhang Y, Cheng B, Mo Y. Exploring the Economic Performance of Metropolitan Areas: Evidence from the Alteration of Spatial Structures in Central Cities. *Journal of Urban Planning and Development*. 2025;151(1):04024068.
14. Morandell T, Wicki M, Kaufmann D. The planning of urban-rural linkages: An automated content analysis of spatial plans adopted by European intermediate cities. *Landscape and Urban Planning*. 2025;255:105258.
15. Ziari K, Golzar M. Analysis of construction and function of new towns in Iran. *Cities*. 2025;158:105639.
16. asghar Pilehvar A. Spatial-geographical analysis of urbanization in Iran. *Humanities and Social Sciences Communications*. 2021;8(1):1-12.
17. Dadashpoor H, Saeidi Shirvan S. Definition and Evolution of Urban Spatial Structure. *The Encyclopedia of Human Geography: Springer*; 2024. p. 1-11.
18. He X, Zhou Y. Urban spatial growth and driving mechanisms under different urban morphologies: An empirical analysis of 287 Chinese cities. *Landscape and Urban Planning*. 2024;248:105096.
19. Sharifi A, Shahriari M, Vaez N. Evaluation of urban development from the perspective of public policy-making with emphasis on the role of the Islamic Council of Shiraz city. *Research and Urban Planning*. 2024;15(57):107-19.
20. Abadi MAH, Khansari MGA, Saber MK, Nooghabi MJ. New patterns of space organization in improving the quality of urban architecture ;a new step in urban policy(case study: Mashhad). *Journal of Urban and Regional Policy*. 2024;3(3):5-19.
21. Ghalambordezfooly R, Sharif SM. Analysis of the physical quality of housing in the neighborhoods affected by the renewal policies of the Deteriorated Area (Case Study: Vahidiye Neighbourhood of Tehran). *Journal of Urban and Regional Policy*. 2023;2(3):17-33.

22. Jones M, Smith, J., & Lee, P. Urban policy and sustainable development in new cities: A case study of East Asian cities. *Urban Studies Journal*. 2020;45(3).
23. Lee S, & Kim, H. The impact of land policies on the physical expansion of new cities: A case study of Seongnam, South Korea. *Journal of Urban Development*. 2021;12(4):101-18.
24. Ahmed A, Khalid, M., & Omar, R. Urban planning and physical resilience in new Middle Eastern cities. *Sustainable Cities and Society*. 2021;8(2):45-67.
25. Garcia L, & Valdez, D. Urban policies and spatial transformations in new Mexican cities. *Human Geography Studies*. 2023;19(1):89-105.
26. Brown T, Wilson, K., & Thomson, R. Evaluating development policies in European new towns: A comparative study. *European Spatial Planning Review*. 2024;30(5):310–28.



Green Transformation of the Capital: A Comprehensive Vision for Electric Transportation in Tehran

Mehdi Bavoghar Zaeimi^{1*} | Saman Mashaghzadeh² | Ghasem Goodarzi³ |
Mohammad Taghi Tahooneh⁴ | Amir Mahdavi⁵

1. Corresponding Author, Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University, Tehran North Branch, Tehran, Iran. Email: m_bavaghar@tahoo.com
2. CEO, Andishkar Consulting Company, Tehran, Iran. Email: andishkar.eng@gmail.com
3. Master's Degree in Civil Engineering, Transportation and Highway, Kermanshah, Iran. Email: gasem.goodarzi@gmail.com
4. Master's Degree in Energy Systems Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran. Email: m_taghi@nt.iust.ac.ir
5. PhD Candidate in Transportation Planning, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: armahdavi1370@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 06 February 2025
Revised 19 March 2025
Accepted 09 April 2025
Published Online 10 May 2025

Keywords:
Clean Transportation,
Tehran City,
Transportation Electrification.

ABSTRACT

Tehran, as one of the most populous metropolitan areas in the region, faces significant challenges related to air pollution and traffic congestion, primarily driven by the heavy reliance of its transportation fleet on fossil fuels. The electrification of transportation has emerged as a critical strategy to mitigate greenhouse gas emissions, enhance air quality, and achieve sustainable development in the city. This study aims to provide a comprehensive vision for the green transformation of Tehran's transportation system. It begins by exploring the global context of this transition, drawing on international data and the successful experiences of leading countries such as China, Norway, and Denmark, while also examining the challenges encountered by other nations. Subsequently, the current state of Tehran is analyzed, highlighting key achievements such as the introduction of electric buses, the replacement of aging taxis with electric models, the installation of charging stations across the city, and the development of a comprehensive electrification plan. The study also addresses existing barriers, including the lack of adequate charging infrastructure, dependence on a fossil fuel-based electricity grid, and financial constraints. To overcome these challenges, practical recommendations are proposed for Tehran's future development, including the enhancement of charging infrastructure with a focus on renewable energy sources, the provision of sustainable financial support, the promotion of public awareness, and the implementation of cohesive policy frameworks to expand the electric public transportation fleet. The findings suggest that by leveraging global best practices and adopting these recommendations in a coordinated manner, Tehran has the potential to become a regional model for sustainable transportation, taking significant strides toward reducing air pollution and realizing the vision of a green capital.

Cite this article: Bavoghar Zaeimi, M.; Mashaghzadeh, S.; Goodarzi, Gh.; Tahooneh, M. T. & Mahdavi, A. (2025). Green Transformation of the Capital: A Comprehensive Vision for Electric Transportation in Tehran. *Urban Development Policy Making*, 2 (2), 207-230. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.515395.1030>



© Mehdi Bavoghar Zaeimi, Saman Mashaghzadeh, Ghasem Goodarzi, Mohammad Taghi Tahooneh, Amir Mahdavi
DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.515395.1030>

1. Introduction

The study addresses the pressing environmental and traffic-related challenges in Tehran, identifying the electrification of urban transportation as a strategic and sustainable solution. It aims to evaluate the feasibility, barriers, and required policy frameworks to support a transition toward cleaner mobility. The authors position electrification as a key response to air quality degradation and the growing demand for urban transport reform.

2. Background

By reviewing global trends in transportation electrification, the study analyzes both successful and unsuccessful international experiences, emphasizing the critical role of supportive policies, infrastructure development, and public acceptance. It underscores the importance of tailoring global best practices to local realities, particularly in cities with dense populations and fossil fuel-dependent grids such as Tehran. The background provides the contextual foundation for assessing why Tehran must act and how it might adapt international models effectively. This section reviews global trends in transport electrification, emphasizing its environmental and economic benefits. It draws on lessons from successful (e.g., Norway, China) and less successful (e.g., Spain, India) international experiences. Key statistics on CO₂ emissions, battery cost reduction, and government policies (e.g., the Paris Agreement) underscore the urgency and feasibility of electrification.

3. Methodology

A qualitative-descriptive research design was adopted, combining content analysis of national and international reports, policy documents, and case studies. The analysis is structured around the three pillars of sustainable development—environmental, economic, and social—providing a comprehensive framework for evaluating electrification strategies. Comparative case studies of countries like China, Norway, and India were employed to extract lessons applicable to Tehran's socio-technical landscape.

4. Results and Discussion

The results underscore Tehran's initial but promising steps toward electrification, including the deployment of electric buses and taxis, the establishment of charging infrastructure, and the drafting of a strategic master plan. A SWOT analysis reveals internal strengths and weaknesses, as well as external opportunities and threats, outlining key factors influencing the success of the electrification agenda. The discussion critically reflects on challenges such as reliance on fossil-based electricity and financial constraints, while benchmarking Tehran's progress against international indicators.

5. Conclusion

The study concludes with strategic recommendations: the development of smart solar-powered charging networks, implementation of targeted financial incentives, local production of EV components, policy harmonization, and public education campaigns. These interventions are considered essential for enabling Tehran to emerge as a regional leader in sustainable and low-emission urban transport. Ultimately, the paper advocates for a coordinated, multi-sectoral approach to overcoming infrastructural and institutional barriers to electrification.



تحول سبز پایتخت؛ چشم‌انداز جامع حمل‌ونقل برقی شهر تهران

مهدی باوقار زعیمی^{۱*} | سامان مشاق‌زاده^۲ | قاسم گودرزی^۳ | محمدتقی طاحونه^۴ | امیر مهدوی^۵

۱. نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی تهران شمال، تهران، ایران. رایانامه: m_bavaghar@yahoo.com

۲. مدیرعامل شرکت مشاوران اندیشکار، تهران، ایران. رایانامه: andishkar.eng@gmail.com

۳. کارشناسی ارشد عمران - راه و ترابری، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: gasem.goodarzi@gmail.com

۴. کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. رایانامه: m_taghi@nt.iust.ac.ir

۵. دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: amirrezamahdavi@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰

کلیدواژه:

برقی‌سازی حمل‌ونقل،

شهر تهران،

حمل‌ونقل پاک.

تهران به عنوان یکی از کلان‌شهرهای پرجمعیت منطقه، با چالش‌های جدی آلودگی هوا و ترافیک مواجه است که عمدتاً ناشی از وابستگی ناوگان حمل‌ونقل به سوخت‌های فسیلی است. برقی‌سازی حمل‌ونقل به عنوان راهکاری اساسی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بهبود کیفیت هوا، و تحقق توسعه پایدار در این شهر مطرح شده است. این پژوهش با هدف ترسیم چشم‌اندازی جامع برای دگرگونی سبز حمل‌ونقل پایتخت، ابتدا زمینه جهانی این تحول را با تکیه بر داده‌های جهانی و تجربیات موفق در کشورهای پیشرو مانند چین، نروژ، و دانمارک و همچنین، چالش‌های به‌وجودآمده قبلی در برخی کشورها بررسی می‌کند. سپس، وضعیت کنونی تهران را تحلیل می‌کند و دستاوردهایی نظیر ورود اتوبوس‌های برقی، جایگزینی تاکسی‌های فرسوده با مدل‌های برقی، نصب ایستگاه‌های شارژ در نقاط مختلف شهر، و تدوین سند طرح جامع برقی‌سازی را برجسته می‌سازد. این مطالعه همچنین به موانع موجود، از جمله کمبود زیرساخت‌های شارژ، وابستگی به شبکه برق فسیلی، و محدودیت‌های مالی می‌پردازد و پیشنهادهایی عملی برای بهبود روند توسعه آتی برای شهر تهران؛ از جمله تقویت زیرساخت‌های شارژ با تأکید بر انرژی‌های تجدیدپذیر، ارائه حمایت‌های مالی پایدار، افزایش آگاهی عمومی، و سیاست‌گذاری منسجم برای توسعه ناوگان حمل‌ونقل عمومی برقی ارائه می‌دهد. یافته‌ها نشان می‌دهد تهران با الگوبرداری از تجربیات جهانی و اجرای هماهنگ این پیشنهادها، می‌تواند به الگویی منطقه‌ای در حمل‌ونقل پایدار تبدیل شود و گامی مؤثر در کاهش آلودگی هوا و تحقق پایتختی سبز بردارد.

استناد: باوقار زعیمی، مهدی؛ مشاق‌زاده، سامان؛ گودرزی، قاسم؛ طاحونه، محمدتقی و مهدوی، امیر (۱۴۰۴). تحول سبز پایتخت؛ چشم‌انداز جامع حمل‌ونقل برقی شهر تهران. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۲ (۲) ۲۰۷-۲۳۰.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.515395.1030>

© مهدی باوقار زعیمی، سامان مشاق‌زاده، قاسم گودرزی، محمدتقی طاحونه، امیر مهدوی

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.515395.1030>



۱. مقدمه

حمل‌ونقل همواره نقشی حیاتی در توسعه جوامع داشته، اما وابستگی به سوخت‌های فسیلی، پیامدهای زیست‌محیطی گسترده‌ای از جمله آلودگی هوا و تغییرات اقلیمی به همراه داشته است. در این میان، برقی‌سازی حمل‌ونقل به عنوان راهکاری مؤثر برای کاهش این آثار منفی و حرکت به سوی آینده‌ای پایدار مطرح شده است [۱]. تهران با جمعیتی حدود ۹/۹ میلیون نفر، با چالش‌های جدی آلودگی هوا و ترافیک روبه‌رو است که بخش عمده‌ای از آن به ناوگان حمل‌ونقل وابسته به سوخت‌های فسیلی بازمی‌گردد. در این شرایط، استفاده از وسایل نقلیه برقی می‌تواند نقش مهمی در کاهش آلاینده‌ها، بهبود سلامت عمومی و ارتقای کارایی سیستم حمل‌ونقل ایفا کند. این مقاله با هدف بررسی چشم‌انداز برقی‌سازی حمل‌ونقل در تهران، به تحلیل فرصت‌ها، چالش‌ها و راهکارهای موجود می‌پردازد و با بهره‌گیری از داده‌ها و تجربیات جهانی، مسیر حرکت پایتخت به سوی حمل‌ونقل پاک را ترسیم می‌کند.

با وجود اهمیت جهانی برقی‌سازی حمل‌ونقل، مطالعات محدودی به بررسی جامع این موضوع در کلان‌شهرهای خاورمیانه، به‌ویژه تهران، پرداخته‌اند. شکاف‌های پژوهشی موجود شامل نبود تحلیل‌های یکپارچه در مورد چالش‌های زیرساختی، مالی، و اجتماعی برقی‌سازی در شهرهایی با ویژگی‌های مشابه تهران (مانند تراکم بالای جمعیت، شبکه برق فسیلی، و محدودیت‌های اقتصادی) است. این شکاف‌ها ضرورت انجام پژوهشی جامع را برای تدوین چشم‌اندازی عملی و بومی‌سازی تجربیات جهانی در تهران برجسته می‌کند. این مطالعه با هدف پر کردن این شکاف پژوهشی، به بررسی فرصت‌ها، چالش‌ها، و راهکارهای برقی‌سازی حمل‌ونقل در تهران می‌پردازد و مسیری برای دستیابی به حمل‌ونقل پایدار در این کلان‌شهر ترسیم می‌کند. این مطالعه چارچوبی بومی‌سازی شده برای تهران ارائه داده است که از طریق تحلیل SWOT، مقایسه تطبیقی با پیشگامان جهانی، و پیشنهاد استراتژی‌های عملی (مانند استفاده از شارژ شبانه) به تدوین راهکارهای محلی می‌پردازد. این رویکرد، به خلاف مطالعات پیشین که عمدتاً بر تحلیل‌های کلی یا غیر منطقه‌ای متمرکز بودند، برای اولین بار تهران را در بستر خاورمیانه بررسی می‌کند و راه‌حلی متناسب با محدودیت‌های اقتصادی و زیرساختی آن ارائه می‌دهد.

بیان مسئله

تهران با چالش‌های زیست‌محیطی و ترافیکی ناشی از ناوگان حمل‌ونقل فسیلی مواجه است که به افزایش آلودگی هوا، کاهش کیفیت زندگی، و هزینه‌های بالای سلامت عمومی منجر شده است. با این حال، فقدان زیرساخت‌های کافی، وابستگی به شبکه برق فسیلی، و محدودیت‌های مالی، موانع اصلی در مسیر برقی‌سازی حمل‌ونقل این شهر هستند. این پژوهش به دنبال پاسخ به این مسئله است که چگونه می‌توان با استفاده از تجربیات جهانی و تدوین سیاست‌های بومی، این چالش‌ها را برطرف کرد و حمل‌ونقل پایداری در تهران ایجاد کرد.

اهداف پژوهش

این مطالعه سه هدف اصلی را دنبال می‌کند:

- تحلیل وضعیت کنونی برقی‌سازی حمل‌ونقل در تهران و شناسایی دستاوردها و موانع موجود.
- بررسی تجربیات موفق و ناموفق جهانی در برقی‌سازی حمل‌ونقل و استخراج درس‌آموخته‌های قابل اجرا برای تهران.
- ارائه پیشنهاد‌های عملی و سیاست‌گذاری‌های منسجم برای توسعه حمل‌ونقل برقی پایدار در تهران.

پرسش‌های تحقیق

- چالش‌های اصلی در مسیر برقی‌سازی حمل‌ونقل چیست؟
- چگونه می‌توان از تجربیات جهانی برای غلبه بر موانع برقی‌سازی در تهران بهره برد؟
- چه سیاست‌ها و راهکارهایی برای توسعه پایدار حمل‌ونقل برقی در تهران ضروری است؟

اهمیت علمی و عملی

این پژوهش با ارائه تحلیل جامع از وضعیت برقی‌سازی در تهران و مقایسه آن با الگوهای جهانی، به پر کردن شکاف‌های پژوهشی در زمینه حمل‌ونقل پایدار در کلان‌شهرهای خاورمیانه کمک می‌کند. از منظر عملی، یافته‌های این مطالعه می‌تواند به سیاست‌گذاران و مدیران شهری تهران در تدوین برنامه‌های بلندمدت برای کاهش آلودگی هوا، بهبود سلامت عمومی، و تحقق اهداف توسعه پایدار یاری رساند. تهران با پتانسیل تبدیل شدن به الگویی منطقه‌ای در حمل‌ونقل پاک، می‌تواند از نتایج این پژوهش برای تسریع در تحول سبز خود بهره‌بردار.

۲. روش‌شناسی

این پژوهش با بهره‌گیری از روش‌های توصیفی - اسنادی و تحلیل محتوای کیفی، به بررسی تجارب جهانی برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل و تطبیق آن‌ها با شرایط تهران با هدف ارائه چشم‌اندازی جامع برای برقی‌سازی حمل‌ونقل در شهر تهران پرداخته است. اسناد علمی، گزارش‌های بین‌المللی، و داده‌های محلی نظیر «کارنامه شرکت توزیع برق تهران بزرگ در سال ۱۴۰۲» جمع‌آوری و تحلیل شد تا چالش‌ها و فرصت‌های برقی‌سازی، به‌ویژه شارژ شبانه، شناسایی شود. با تحلیل منطقی این داده‌ها، راهبردهایی عملی برای توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل برقی تهران پیشنهاد شد. این مطالعه بر دو محور اصلی استوار است: (۱) تحلیل داده‌های محلی برای درک وضعیت کنونی تهران، و (۲) بررسی تطبیقی برای استخراج درس‌آموخته‌های قابل اجرا از کشورهای پیشرو.

برای شناسایی درس‌آموخته‌های جهانی، مطالعات تطبیقی در مورد برقی‌سازی حمل‌ونقل در کشورهای پیشرو (چین، نروژ، دانمارک) و کشورهایی با چالش‌های مشابه (هند، اسپانیا) انجام شده است. این مطالعات بر اساس معیارهای زیر صورت گرفته‌اند:

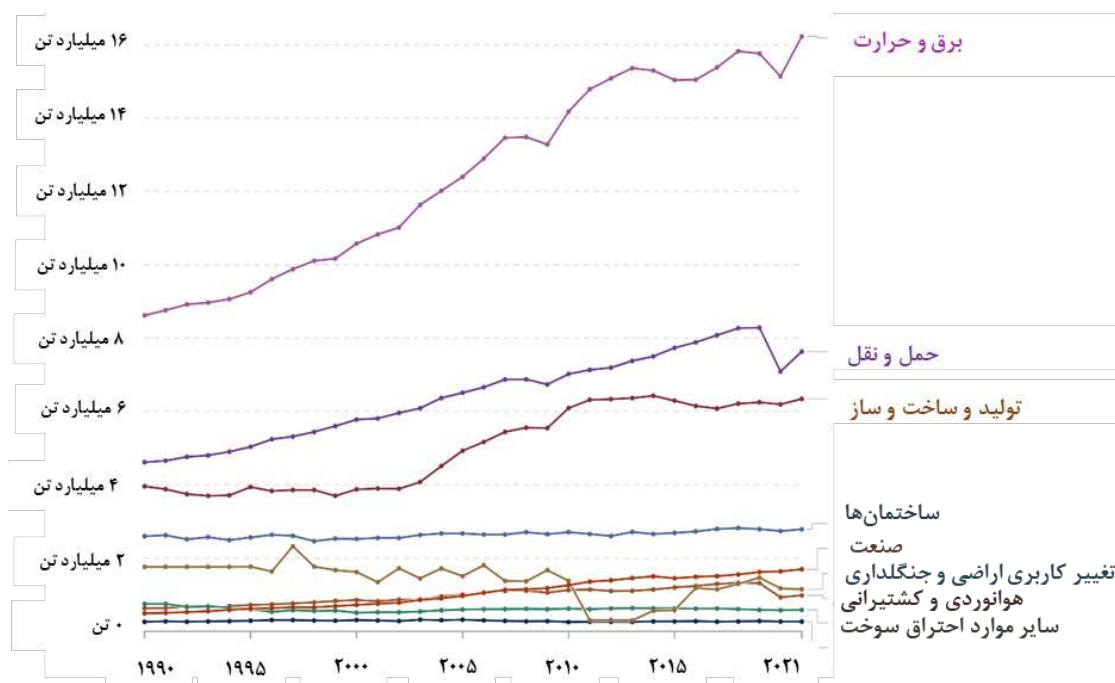
- سیاست‌های تشویقی و قوانین؛
 - توسعه زیرساخت‌های شارژ؛
 - تأثیر زیست‌محیطی و اقتصادی خودروهای برقی؛
 - داده‌های این بخش از منابع معتبر مانند گزارش‌های IEA، BloombergNEF، و مقالات علمی استخراج شده‌اند.
- این پژوهش بر اساس چارچوب مفهومی توسعه پایدار طراحی شده است که سه بعد اصلی زیست‌محیطی، اقتصادی، و اجتماعی را در بر می‌گیرد. این چارچوب برای تحلیل تأثیرات برقی‌سازی حمل‌ونقل و تدوین پیشنهادها عملی استفاده شده است. به عنوان مثال، کاهش انتشار CO₂ به عنوان هدف زیست‌محیطی، کاهش هزینه‌های عملیاتی به عنوان هدف اقتصادی، و افزایش آگاهی عمومی به عنوان هدف اجتماعی در نظر گرفته شده‌اند.
- این مطالعه با محدودیت‌هایی مواجه بوده است، از جمله:
- دسترسی محدود به داده‌های به‌روز در مورد عملکرد ناوگان برقی تهران به دلیل نوظا بودن این پروژه.
 - نبود مطالعات قبلی جامع در مورد برقی‌سازی در کلان‌شهرهای خاورمیانه که تحلیل تطبیقی را دشوار کرده است.
- با این حال، استفاده از منابع معتبر و داده‌های رسمی تا حد زیادی این محدودیت‌ها را جبران کرده است.

۳. زمینه جهانی برقی‌سازی حمل‌ونقل

برقی‌سازی حمل‌ونقل به عنوان یک تحول اساسی در صنعت جابه‌جایی جهانی، با کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، کاهش انتشار کربن و بهبود بهره‌وری انرژی همراه است. این تغییر که با نوآوری‌هایی مانند باتری‌های پیشرفته و سیستم‌های شارژ سریع پشتیبانی می‌شود، علاوه بر مزایای زیست‌محیطی، فرصت‌های اقتصادی و شغلی جدیدی را نیز ایجاد می‌کند. همچنین، گسترش خودروهای برقی در حمل‌ونقل عمومی موجب کاهش آلودگی هوا و بهبود سلامت عمومی می‌شود. در مجموع، این روند گامی مؤثر در جهت توسعه پایدار و ایجاد سیستم‌های حمل‌ونقل کارآمد و سالم‌تر برای آینده است [۲].

۳-۱. بحران آلودگی حمل و نقل

حمل و نقل جاده‌ای از مهم‌ترین و تأثیرگذارترین عوامل انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHGs) در سطح جهان به شمار می‌رود و نقشی محوری در تشدید بحران اقلیمی ایفا می‌کند. بر اساس گزارش سازمان بین‌المللی تغییرات آب‌وهوایی (Climate Watch)، این بخش در سال ۲۰۲۲ مسئول انتشار ۸/۲ گیگاتن دی‌اکسید کربن (CO₂) بود که حدود ۲۴ درصد از کل انتشارات جهانی CO₂ و بیش از ۷۰ درصد از انتشارات کل بخش حمل و نقل (شامل هوایی، دریایی و زمینی) را تشکیل می‌دهد [۳]. این افزایش نسبت به ۸ گیگاتن در سال ۲۰۲۲ نشان‌دهنده روند روبه‌رشد وابستگی به وسایل نقلیه جاده‌ای است، به‌ویژه در مناطق شهری و در حال توسعه که تقاضا برای جابه‌جایی به طور مداوم افزایش می‌یابد. خودروهای مجهز به موتورهای احتراق داخلی (ICE)، اعم از بنزینی و دیزلی، که همچنان بیش از ۹۰ درصد ناوگان وسایل نقلیه سبک جهان را تشکیل می‌دهند [۴]، نه تنها CO₂ بلکه طیف گسترده‌ای از آلاینده‌های خطرناک مانند اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، ذرات معلق ریز (PM_{۲.۵})، ذرات فوق ریز (PM_{۱۰})، و ترکیبات آلی فرار (VOCs) تولید می‌کنند. این آلاینده‌ها اثرات مخربی بر لایه ازن دارند، به تشکیل مه‌دود منجر می‌شوند، و با نفوذ به سیستم تنفسی و خونی انسان، بیماری‌های مزمن تنفسی، قلبی - عروقی و حتی سرطان ریه را تشدید می‌کنند [۵].



شکل ۱. انتشار جهانی CO₂ در بخش‌های مختلف (۱۹۹۰-۲۰۲۱) [۹]

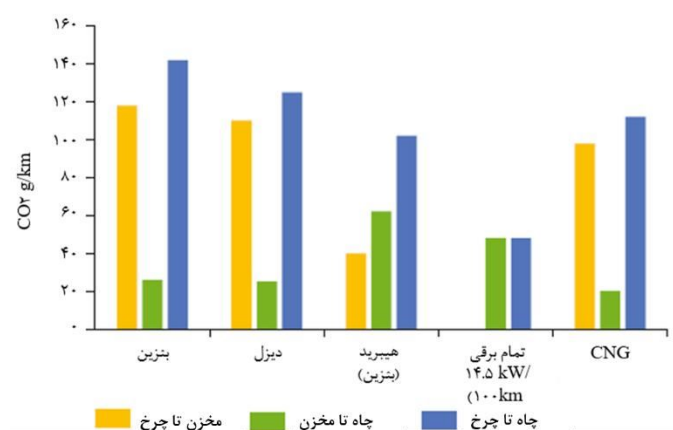
روند انتشار CO₂ در بخش‌های مختلف انتشاردهنده اصلی آلودگی در دنیا در شکل ۱ را نشان داده شده است. این افزایش مداوم نتیجه عواملی مانند رشد ناوگان جهانی وسایل نقلیه (از ۱ میلیارد در ۲۰۱۰ به ۱/۴۵ میلیارد در ۲۰۲۳) [۴]، وابستگی شدید به سوخت‌های فسیلی (۹۵ درصد از انرژی حمل و نقل جاده‌ای) و ناکارآمدی ذاتی فناوری‌های موتور درون‌سوز است. موتورهای احتراق داخلی تنها ۲۰ - ۳۰ درصد از انرژی سوخت را به حرکت تبدیل می‌کنند، و باقی‌مانده به صورت گرما (۵۰ - ۶۰ درصد) و گازهای خروجی (۱۰ - ۱۵ درصد) هدر می‌رود، که این ناکارآمدی به طور مستقیم به افزایش مصرف سوخت و انتشارات آلودگی منجر می‌شود [۶].

بدون اقدامات کنترلی سخت‌گیرانه، پیش‌بینی می‌شود که انتشار CO₂ از خودروهای سواری تا سال ۲۰۳۰ به ۱۲ گیگا تن برسد [۷]، که این رقم با توجه به رشد جمعیت و شهرنشینی (پیش‌بینی ۶۸ درصد جمعیت شهری تا ۲۰۵۰ توسط سازمان ملل

[۸] دور از انتظار نیست. این داده‌ها و تحلیل‌ها عمق فاجعه‌ای را نشان می‌دهند که جامعه جهانی را به سمت تعهدات اقلیمی مانند توافق‌نامه پاریس (کاهش ۴۵ درصد انتشارات تا ۲۰۳۰ نسبت به سطوح ۲۰۱۰) و هدف ۱۳ توسعه پایدار سازمان ملل (SDG ۱۳) برای اقدام فوری در برابر تغییرات اقلیمی سوق داده است. این تعهدات، زمینه‌ساز گذار به فناوری‌های پاک‌تر مانند برقی‌سازی شده‌اند که می‌تواند نقطه عطفی در کاهش این بحران جهانی باشد.

۳-۲. مزایای زیست‌محیطی و اقتصادی برقی‌سازی حمل‌ونقل

برقی‌سازی حمل‌ونقل از سه منظر اصلی پشتیبانی می‌شود: زیست‌محیطی، اقتصادی و سیاسی، که هر یک به طور جداگانه و در تعامل با یکدیگر، کشورها را به پذیرش این فناوری ترغیب کرده‌اند. از منظر زیست‌محیطی، خودروهای برقی با حذف گازهای خروجی مستقیم مانند کربن دی‌اکسید (CO_2)، مونوکسید کربن (CO) و ذرات معلق ($PM_{2.5}$)، می‌توانند مرگ‌ومیر مرتبط با آلودگی هوا را تا ۷ درصد کاهش دهند، که بر اساس گزارش آژانس محیط زیست اروپا [۱۰] معادل نجات حدود ۵۰۰ درصد زندگی در سال در مقیاس جهانی است. این مزیت به‌ویژه در مناطق شهری با تراکم بالای جمعیت و آلودگی شدید، مانند کلان‌شهرها، برجسته‌تر است. برای ارزیابی دقیق تأثیر زیست‌محیطی خودروهای برقی، باید چرخه کامل تولید و استفاده^۱ بررسی شود که شامل دو بخش است: چاه تا مخزن^۲ یعنی تولید سوخت یا برق، و مخزن تا چرخ^۳ یعنی مصرف در خودرو. خودروهای درون‌سوز در این چرخه شامل استخراج نفت، پالایش و احتراق هستند که در مجموع ۹۳ گرم CO_2 بر مگاژول می‌شود [۱۱]. در مقابل، خودروهای برقی در بخش مخزن تا چرخ هیچ آلودگی مستقیمی ندارند، اما در بخش چاه تا مخزن به ترکیب منابع تولید برق وابسته‌اند. برای مثال، در چین با شبکه برقی ۶۰ درصد زغال‌سنگی، هر کیلووات‌ساعت برق ۷۵۰ گرم CO_2 منتشر می‌کند که برای یک خودروی برقی با مصرف ۰/۲ کیلووات‌ساعت بر کیلومتر، معادل ۱۵۰ گرم CO_2 بر کیلومتر [۱۲]، اما در نروژ، با ۹۸ درصد برق از انرژی آبی، این میزان به ۸ گرم CO_2 بر کیلومتر کاهش می‌یابد [۱۳]. شکل ۲، مقایسه‌ای بین انتشار CO_2 چرخه کامل خودروی برقی و درون‌سوز از چاه تا تانک، از تانک تا چرخ و چرخه کامل چاه تا تانک را نشان داده‌اند. خودروهای برقی حتی با برق ترکیبی (۵۰ درصد تجدیدپذیر، ۵۰ درصد فسیلی) می‌توانند پتانسیل گرمایش جهانی^۴ را ۱۰-۲۴ درصد کمتر از خودروهای دیزلی با ۲۰۰ گرم CO_2 بر کیلومتر کنند [۱۴].



شکل ۲. مقایسه آلودگی چرخه کامل خودروهای برقی و ICE [۱۴]

از نظر اقتصادی، برتری خودروهای برقی در کاهش هزینه‌های عملیاتی و نگهداری انکارناپذیر است. هزینه سوخت خودروهای برقی با فرض قیمت برق ۱۰ سنت بر کیلووات‌ساعت، به حدود ۱/۵ سنت بر کیلومتر می‌رسد، در حالی که این رقم برای خودروهای

1. Well-to-Wheel
2. Well-to-Tank
3. Tank-to-Wheel
4. Global Warming Potential

بنزینی با قیمت بنزین ۳/۵ دلار بر گالن (معادل حدود ۹۲ سنت بر لیتر) به ۱۰ سنت بر کیلومتر می‌رسد. علاوه بر این، حذف قطعاتی مانند سیستم اگزوز، تسمه تایم و فیلترهای روغن در خودروهای برقی هزینه‌های نگهداری را تا ۴۰ درصد کاهش می‌دهد، که این امر به‌ویژه برای ناوگان‌های حمل‌ونقل عمومی و تجاری، مانند اتوبوس‌ها و تاکسی‌ها، از نظر مالی جذاب است [۱۵].

۳-۳. سیاست‌ها و قوانین توسعه‌دهنده برقی‌سازی حمل‌ونقل جهانی

محرك اصلی برقی‌سازی در جهان، قوانین ملی و بین‌المللی مانند توافق‌نامه پاریس (۲۰۱۵) و برنامه‌های کاهش انتشار (NDCs) است که کشورها را به کاهش آلاینده‌گی و استفاده از فناوری پاک متعهد می‌کند. اتحادیه اروپا با هدف کاهش ۵۵ درصد گازهای گلخانه‌ای تا ۲۰۳۰ و صفر خالص تا ۲۰۵۰ (سند سبز)، برنامه‌هایی مثل ساخت ۳ میلیون ایستگاه شارژ و بودجه ۲۰ میلیارد یورویی دارد [۱۶]. در آمریکا، قوانین هوای پاک، CAFE و قانون کاهش تورم با مشوق‌های مالی، برقی‌سازی را تقویت کرده‌اند. چین نیز با برنامه «خودروهای انرژی جدید» و هدف ۲۰ درصد فروش خودروهای برقی تا ۲۰۲۵، بزرگ‌ترین بازار جهانی این خودروها شده است. خلاصه‌ای از سایر سیاست‌های مهم و تأثیرگذار در این زمینه را نشان می‌دهد.

جدول ۱. خلاصه قوانین و برنامه‌های کاهش آلودگی هوا در دنیا

کشور/منطقه	قانون/برنامه	سال	هدف	نقش در کشور/ منطقه برقی‌سازی	مرجع
آمریکا	قانون هوای پاک (Clean Air Act)	۱۹۶۳	کاهش ۲,۵PM به زیر ۱۲ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	پایه‌گذاری استانداردهای آلاینده‌گی و تشویق به فناوری‌های پاک	(۱۷)
آمریکا	قانون کاهش تورم (IRA)	۲۰۲۲	کاهش ۴۰٪ انتشار تا ۲۰۳۰	اعتبار مالیاتی ۷,۵۰۰ دلاری و ۳۷۰ میلیارد دلار سرمایه‌گذاری در خودروهای برقی و انرژی پاک	(۱۸)
اتحادیه اروپا	توافق‌نامه سبز اروپا (European Green Deal)	۲۰۱۹	کاهش ۹۰٪ آلاینده‌گی حمل‌ونقل تا ۲۰۵۰	توسعه ۳ میلیون ایستگاه شارژ و بودجه ۲۰ میلیارد یورویی برای خودروهای برقی	(۱۹)
چین	برنامه خودروهای انرژی جدید (NEVs)	۲۰۰۹	۲۰٪ فروش خودروهای برقی تا ۲۰۲۵	یارانه ۲,۰۰۰ دلاری، معافیت مالیاتی و سرمایه‌گذاری ۱۵ میلیارد دلاری در زیرساخت‌ها	(۸)
نروژ	سیاست ملی خودروهای برقی	۱۹۹۰	۱۰۰٪ فروش خودروهای برقی تا ۲۰۲۵	معافیت مالیاتی، دسترسی به خطوط ویژه و بیش از ۲۰,۰۰۰ ایستگاه شارژ	(۲۰)

۴. تجربیات جهانی برقی‌سازی حمل‌ونقل (موفقیت‌ها و چالش‌ها)

در دهه‌های اخیر، برقی‌سازی حمل‌ونقل به عنوان یکی از راهکارهای کلیدی برای دستیابی به توسعه پایدار و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی مورد توجه قرار گرفته است. کشورهای مختلف با اتخاذ سیاست‌ها و فناوری‌های نوین، تجربیات موفق قابل توجه و همچنین چالش‌های متعددی در این مسیر به دست آورده‌اند. در این بخش، به بررسی دستاوردها و موانع موجود در تجربه جهانی برقی‌سازی حمل‌ونقل خواهیم پرداخت تا از این تجارب در جهت بهبود عملکرد سیستم‌های حمل‌ونقل بهره‌مند شویم.

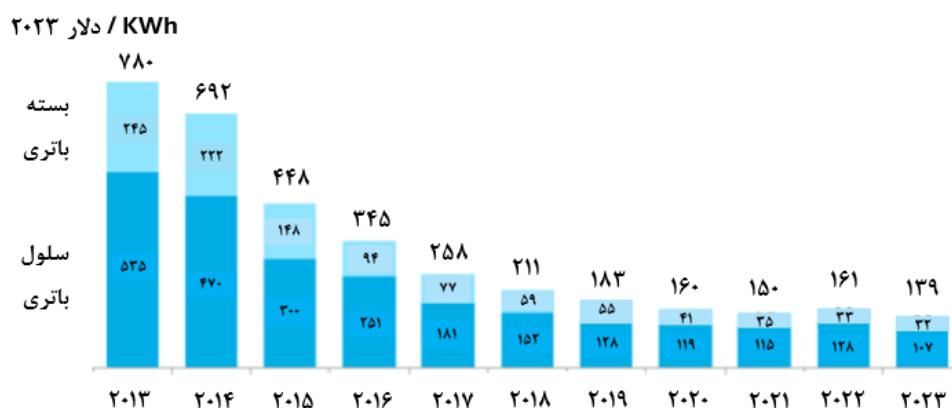
۴-۱. بازار جهانی خودروهای برقی

بازار جهانی خودروهای برقی در سال‌های اخیر رشد چشمگیری را تجربه کرده است. در سال ۲۰۲۳، فروش این خودروها (شامل خودروهای تمام برقی (BEVs) و هیبریدی قابل شارژ (PHEVs)) به حدود ۱۴ میلیون دستگاه رسید که نسبت به ۱۰/۵ میلیون دستگاه در سال ۲۰۲۲، افزایشی ۳۵ درصدی را نشان می‌دهد. این رشد سریع حاصل پیشرفت‌های فناورانه، سیاست‌های حمایتی و تغییر الگوی مصرف انرژی در سطح جهان است [۴].

عوامل کلیدی در رشد بازار خودروهای برقی شامل موارد زیر است:

۱. کاهش هزینه و بهبود فناوری باتری:

یکی از عوامل مهم در رقابتی شدن خودروهای برقی، کاهش چشمگیر هزینه باتری‌ها بوده است. مطابق شکل ۳ قیمت باتری‌های لیتیوم - یونی از ۷۸۰ دلار بر کیلووات‌ساعت در سال ۲۰۱۳ به ۱۳۹ دلار در سال ۲۰۲۳ کاهش یافته است [۱۴]. هم‌زمان، چگالی انرژی این باتری‌ها از ۱۰۰ به بیش از ۲۵۰ وات‌ساعت بر کیلوگرم افزایش یافته که موجب بهبود برد حرکتی و کارایی خودروهای برقی شده است.



شکل ۳. میانگین قیمت حجمی بسته و سلول باتری لیتیوم - یونی در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ [۲۱]

۲. افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر

رشد چشمگیر تولید برق از منابع تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و بادی، تأثیر مثبتی بر کاهش ردپای کربنی خودروهای برقی داشته است. در حال حاضر، بیش از ۳۰ درصد از برق جهانی از منابع تجدیدپذیر تأمین می‌شود که این رقم همچنان در حال افزایش است. این امر موجب می‌شود که خودروهای برقی نه تنها در مصرف انرژی کارآمدتر باشند، بلکه نقش مؤثری در کاهش آلودگی زیست‌محیطی ایفا کنند. نروژ نمونه‌ای برجسته است که با بهره‌گیری از شبکه برقی مبتنی بر ۹۸ درصد انرژی تجدیدپذیر (عمدتاً برق آبی [۱۳])، انتشار CO_2 ناشی از خودروهای برقی را به ۸ گرم بر کیلومتر کاهش داده است.

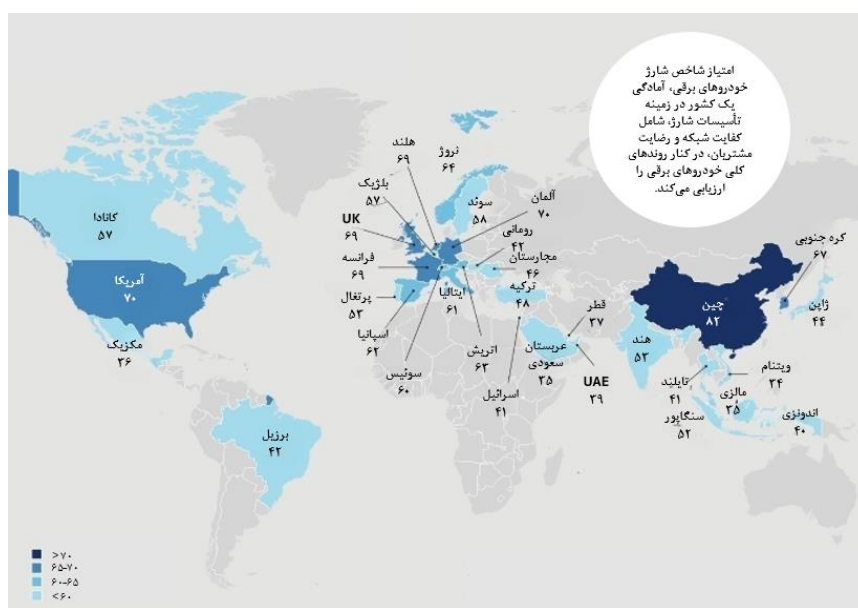
۳. مشوق‌های دولتی و حمایت‌های اقتصادی

دولت‌ها برای ترویج خودروهای برقی از سیاست‌های حمایتی استفاده می‌کنند. در آمریکا، یارانه ۷،۵۰۰ دلاری قیمت را کاهش می‌دهد. نروژ با معافیت مالیاتی، عوارض رایگان، خطوط ویژه و ۲۰ هزار ایستگاه شارژ، در ۲۰۲۳ بیش از ۹۰ درصد فروش خودروها را برقی کرده و هدف ۱۰۰ درصد تا ۲۰۲۵ دارد؛ مثلاً تسلا مدل ۳ با قیمت رقابتی و پیمایش ۵۰۰ کیلومتر محبوب است. آلمان نیز با یارانه ۹ هزار یورویی و هدف ۳ میلیون ایستگاه شارژ تا ۲۰۳۰، سهم خودروهای برقی را در ۲۰۲۳ به ۲۵ درصد رسانده است [۲۰ و ۲۲].

۴. توسعه زیرساخت‌های شارژ

یکی از موانع اصلی پذیرش خودروهای برقی، کمبود ایستگاه‌های شارژ بوده است، اما با سرمایه‌گذاری‌های اخیر، تعداد این ایستگاه‌ها تا سال ۲۰۲۳ به ۳/۹ میلیون واحد رسیده و فناوری شارژ سریع نیز باتری‌ها را در کمتر از ۳۰ دقیقه تا ۸۰ درصد شارژ می‌کند. شاخص شارژ خودرو برقی رولند برگر^۱ ۲۰۲۴، با بررسی داده‌های ۱۵،۵۸۲ نفر از مناطق مختلف جهان و تمرکز بر دسترسی پذیری، کارایی شبکه شارژ، و رضایت مشتریان، عملکرد زیرساخت‌های شارژ را ارزیابی کرده و امتیازی بین ۰ تا ۱۰۰ به کشورها می‌دهد. این شاخص، که در نقشه جهانی (شکل ۴) با طیف رنگی و اعداد نشان داده شده، ناهمگونی جغرافیایی در توسعه زیرساخت‌ها را در ۲۸ کشور منتخب نمایش می‌دهد و به سیاست‌گذاران برای شناسایی قوت‌ها، ضعف‌ها و فرصت‌های توسعه پایدار کمک می‌کند. تحلیل زیر بر اساس داده‌های نقشه و متن همراه انجام شده است:

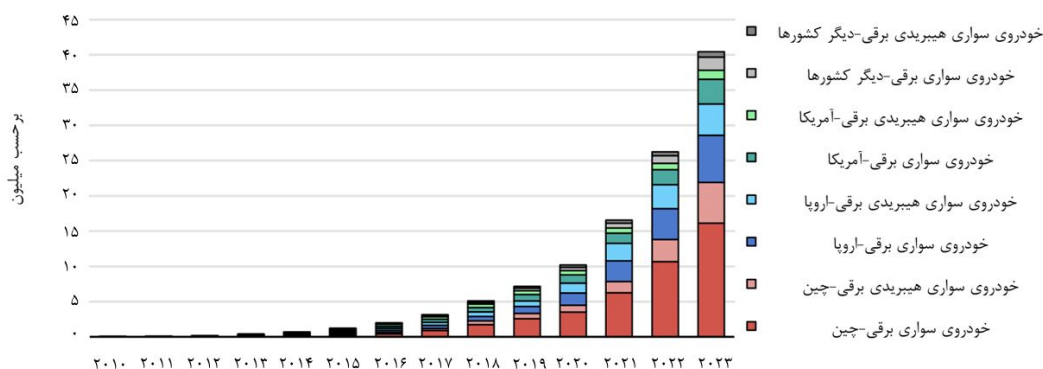
- کشورهای پیشرو: چین با امتیاز ۸۲، به دلیل افزایش ۶۵ درصد شبکه شارژ (۸/۶ میلیون نقطه) و تمرکز بر شارژرهای خانگی و سوپرشارژرها، پیشتاز جهانی است و ۸۶ درصد رانندگان از کیفیت شارژ راضی هستند. ایالات متحده و آلمان هر دو با امتیاز ۷۰، به ترتیب با فروش ۱/۵ میلیون خودرو برقی و شبکه شارژ پیشرفته، موفق عمل کرده‌اند، اما آمریکا با نسبت خودرو به شارژر ۲۴/۵ چالش‌هایی دارد.
- کشورهای با رشد متوسط: نروژ (۶۴)، هلند (۶۹)، سوئد (۵۸)، فرانسه (۶۹)، و سوئیس (۶۰) در بازه ۶۰-۷۰ قرار دارند. نروژ با ۲۰ هزار ایستگاه شارژ و شبکه برق تجدیدپذیر الگوی موفق است، اما کاهش یارانه‌ها فروش را کند کرده. کره جنوبی (۶۷) با شارژرهای سریع و ژاپن (۴۴) با تمرکز بر فناوری هیبریدی، رویکردهای متفاوتی دارند.
- کشورهای با رشد کند: ترکیه (۴۶)، عربستان (۳۵)، امارات (۳۹)، و هند (۵۳) با امتیاز زیر ۶۰، پیشرفت محدودی دارند. خاورمیانه (مثل عربستان با بهبود نسبت خودرو به شارژر به ۱،۰) و آسیای جنوب شرقی (مالزی ۳۵، تایلند ۴۱) در حال توسعه هستند، اما مکزیک (۳۶)، برزیل (۴۲)، و ویتنام (۳۴) به دلیل زیرساخت ضعیف عقب مانده‌اند.
- روندهای منطقه‌ای: اروپای غربی با رشد ۸۰ درصد شارژرهای DC (فرانسه و آلمان) پیشتاز است، اما کاهش یارانه‌ها فروش را محدود کرده. آمریکا با تکیه ۹۶ درصد مالکان بر شارژ خانگی و تأخیر در برنامه NEVI کمبود زیرساخت دارد. چین با ۴۴ درصد شارژرهای DC تقاضا را پوشش می‌دهد، و خاورمیانه و آسیای جنوب شرقی با گزینه‌های اقتصادی در حال پیشرفت هستند.



شکل ۴. شاخص شارژ خودروهای برقی رولند برگر ۲۰۲۴ [۲۳]

شکل ۵ نمودار فروش جهانی خودروهای برقی را در سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۲۳ نشان می‌دهد. نرخ رشد سالانه خودروهای تمام‌برقی (۴۵ درصد) از خودروهای هیبرید برقی (۲۰ درصد) پیشی گرفته که نشان‌دهنده ترجیح مصرف‌کنندگان به خودروهای تمام‌برقی است. این روند می‌تواند الگویی برای تهران باشد که به دنبال کاهش سریع آلودگی است. همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، بزرگ‌ترین بازار خودروهای برقی جهان در ۲۰۲۳ متعلق به کشور چین با ۸/۴ میلیون دستگاه است که با رویکردی متفاوت، از طریق سیاست‌های تهاجمی و سرمایه‌گذاری عظیم (۱۵ میلیارد دلار در برنامه [۲۴])، به این سهم دست یافته است. ممنوعیت فروش خودروهای درون‌سوز در شهرهایی مانند پکن و شانگهای، همراه با توسعه ۳/۹ میلیون ایستگاه شارژ عمومی (IEA, 2024)، موفقیت این کشور را تضمین کرده است. همچنین شرکت BYD، به عنوان بزرگ‌ترین تولیدکننده خودروهای برقی چین، با مدل‌هایی مانند BYD Han (پیمایش ۶۰۰ کیلومتر) نشان داده که تولید انبوه و قیمت‌گذاری رقابتی (حدود ۳۰ هزار دلار) چگونه تقاضا را تحریک می‌کند (تجارب موفق جهانی).

روند فروش خودروهای برقی از ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳



شکل ۵. روند تعداد خودروهای برقی در جهان (۲۰۱۰-۲۰۲۳) [۴]

۴-۲. چالش‌ها و تجربیات ناموفق جهانی و روش‌های بهبود

با وجود موفقیت‌های فراوان در این حوزه، برخی کشورها با چالش‌هایی جدی در زمینه برقی‌سازی حمل‌ونقل خود مواجه شده‌اند که درس‌هایی حیاتی برای برقی‌سازی حمل‌ونقل در تهران دارند. اسپانیا، علی‌رغم تعهد به اهداف اتحادیه اروپا، به دلیل زیرساخت‌های شارژ ضعیف (کمتر از ۵۰ درصد ایستگاه در ۲۰۲۳) و یارانه‌های ناکافی (حداکثر ۷ هزار یورو با شرایط سخت)، از میانگین اروپا عقب مانده است. مطالعه‌ای در والنسیا نشان داد برد محدود باتری‌ها (متوسط ۳۰۰ کیلومتر) و زمان شارژ طولانی (بیش از ۳۰ دقیقه برای شارژ سریع)، همراه با حمایت بیشتر از خودروهای فسیلی (یارانه سوخت)، انگیزه پذیرش خودروهای برقی را کاهش داده است. برای مثال، اتوبوس‌های برقی در مادرید به دلیل فرسودگی زود هنگام باتری‌ها، هزینه‌های تعمیر و نگهداری را ۴۰ درصد افزایش داده‌اند [۲۵]. هند با وجود طرح تشویقی FAME II، به دلیل شبکه برقی وابسته به ۶۰ درصد زغال سنگ مزیت زیست‌محیطی خودروهای برقی را کم‌رنگ کرده و با تنها ۱۰ هزار ایستگاه شارژ در ۲۰۲۳، نتوانسته تقاضا را پاسخ دهد. خودروی تاتا نکسون برقی، با پیمایش ۳۱۲ کیلومتر، به دلیل کمبود زیرساخت، در شهرهایی مثل دهلی کمتر مورد استقبال قرار گرفته است. ژاپن، با تمرکز بر خودروهای هیبریدی (مانند تویوتا پریوس)، به دلیل زیرساخت شارژ محدود (۴۰ هزار ایستگاه) و شبکه برقی فسیلی، در خودروهای برقی خالص عقب مانده است. این چالش‌ها بر نیاز به زیرساخت‌های قوی، سیاست‌های پایدار و هماهنگی با شبکه برق تأکید دارند [۲۶]. دانمارک طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ با هدف حذف خودروهای بنزینی تا ۲۰۳۰، با چالش‌هایی روبه‌رو شد که پیشرفت در برقی‌سازی را متوقف کرد. از جمله این مشکلات می‌توان به یارانه‌های ناکافی اشاره کرد؛ در این دوره، یارانه‌ها حداکثر ۲۰ درصد تخفیف مالیاتی بود که در مقایسه با نروژ، که معافیت کامل مالیات ارائه می‌کرد، ناکافی بود. همچنین، هزینه اولیه خودروهای برقی مانند رنو زوئی (حدود ۲۵۰ هزار کرون) در مقابل خودروهای بنزینی مشابه (۱۵۰ هزار کرون) تقاضا را کاهش داد. مقاومت اجتماعی نیز به دلیل نگرانی‌هایی درباره برد محدود (۱۵۰-۲۰۰ کیلومتر) و زمان شارژ طولانی (۶-۸ ساعت) باعث کاهش تمایل مردم به خرید خودروهای برقی شد. از طرفی، کمبود زیرساخت‌ها در این دوره مشهود بود، به طوری که تعداد ایستگاه‌های شارژ عمومی کمتر از ۱،۰۰۰ واحد بود که برای کشوری با ۵/۸ میلیون نفر جمعیت ناکافی بود. در نتیجه، فروش خودروهای برقی در ۲۰۱۳ به کمتر از ۱،۰۰۰ دستگاه رسید، در حالی که هدف اولیه ۱۰ هزار دستگاه بود. از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۳، دانمارک با استفاده از تجربیات نروژ و چین، سیاست‌ها و سرمایه‌گذاری‌های جدیدی را برای جبران مشکلات برقی‌سازی حمل‌ونقل به کار گرفت. این اقدامات شامل کاهش مالیات و ارائه مشوق‌های خرید، مانند تخفیف ۱۵ هزار کرونی برای کارمندانی که از کارفرمایان خودروی برقی دریافت می‌کنند و وام‌های بدون بهره تا ۵۰ هزار کرون برای خرید خودروهای برقی بود که باعث کاهش هزینه‌های مالکیت و تحریک تقاضا شد. همچنین، دولت دانمارک بودجه ۹۲/۵ میلیون کرونی (۱۳/۸ میلیون دلار) برای توسعه زیرساخت‌های شارژ در مجتمع‌های مسکونی اختصاص داد. علاوه بر این، تعداد

شارژرهای فوق‌سریع^۱ از ۲۴۳ واحد در ۲۰۲۱ به ۷۸۴ واحد در ۲۰۲۲ رسید، و این افزایش تعداد شارژرها، زمان شارژ خودروها را به ۱۵-۲۰ دقیقه کاهش داد. این اصلاحات موجب شد فروش خودروهای برقی در ۲۰۲۳ به بیش از ۳۵ هزار دستگاه برسد و سهم بازار خودروهای برقی در دانمارک به ۲۰ درصد افزایش یابد. با این حال، همچنان وابستگی به برق تولیدشده از منابع فسیلی که ۴۰ درصد آن از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود، چالشی باقی مانده است و این کشور هدف‌گذاری کرده است که تا سال ۲۰۳۰ سهم انرژی‌های تجدیدپذیر را به ۷۰ درصد افزایش دهد [۲۷].

۳-۴. هدف‌گذاری جهانی برقی‌سازی ناوگان

شکل ۶ که از گزارش آژانس بین‌المللی انرژی (IEA) استخراج شده، یک نمودار ستونی تجمعی است که رشد پیش‌بینی‌شده فروش جهانی خودروهای برقی را تا سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۳۵ بر اساس سه سناریوی اصلی تحلیل می‌کند. این نمودار، داده‌ها را بر اساس مناطق جغرافیایی (چین، اروپا، ایالات متحده، ژاپن، هند، و سایر نقاط جهان) و کل جهانی تفکیک کرده و تعداد خودروهای برقی را به میلیون واحد در محور عمودی و سناریوها و سال‌ها را در محور افقی نمایش می‌دهد. این تحلیل بر اساس داده‌های به‌روز و مدل‌سازی‌های سناریویی ارائه‌شده توسط IEA صورت گرفته است.

گزارش سازمان IEA سه سناریوی کلیدی را برای پیش‌بینی رشد بازار خودروهای برقی ارائه می‌دهد [۴] که هر یک بر اساس سطح تعهدات سیاستی و اقدامات اجرایی متفاوت است:

۱. سناریوی سیاست‌های اعلام‌شده^۲:

○ این سناریو بر اساس سیاست‌ها و اقدامات موجود در حال اجرا توسط دولت‌ها طراحی شده است. پیش‌بینی می‌شود که تعداد خودروهای برقی (به‌جز دو و سه چرخه) از کمتر از ۴۵ میلیون دستگاه در سال ۲۰۲۳ به ۵۲۵ میلیون دستگاه در سال ۲۰۳۵ افزایش یابد. این رشد با نرخ سالانه ۲۳ درصد همراه است، که نشان‌دهنده سهم تقریبی ۲۵ درصد از کل ناوگان وسایل نقلیه جاده‌ای جهانی تا سال ۲۰۳۵ است.

۲. سناریوی تعهدات اعلام‌شده^۳:

○ این سناریو فرض می‌کند که تمامی اهداف و تعهدات اعلام‌شده توسط دولت‌ها به طور کامل محقق شوند. در این حالت، تعداد خودروهای برقی تا سال ۲۰۳۵ به ۵۸۵ میلیون دستگاه خواهد رسید، که معادل ۳۰ درصد از ناوگان خودروها است. این سناریو به دلیل خوش‌بینی نسبت به اجرای تعهدات، رشد سریع‌تری را نسبت به سناریوی قبلی پیش‌بینی می‌کند.

۳. سناریوی صفر خالص تا ۲۰۵۰^۴:

○ جاه‌طلبانه‌ترین سناریو که با هدف محدود کردن افزایش دمای جهانی به ۱/۵ درجه سانتی‌گراد هم‌راستا است. در این سناریو، تعداد خودروهای برقی با نرخ سالانه متوسط ۲۷ درصد رشد می‌کند و تا سال ۲۰۳۵ به حدود ۷۹۰ میلیون دستگاه خواهد رسید. این سناریو نشان‌دهنده حداکثر پتانسیل برقی‌سازی در صورت حمایت‌های گسترده سیاستی و نوآوری‌های فنی است.

گزارش IEA نقش مناطق جغرافیایی را در شکل‌دهی بازار جهانی خودروهای برقی برجسته می‌کند. چین، با سرمایه‌گذاری عظیم در تولید باتری (بیش از ۷۰ درصد از ظرفیت جهانی باتری‌های لیتیوم‌یونی در ۲۰۲۳) و سیاست‌های تهاجمی برقی‌سازی، پیش‌تاز است و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۵، ۸۵ درصد از فروش داخلی خودروهای جدید را به خود اختصاص دهد [۲۴]. اروپا، با اجرای استانداردهای سخت‌گیرانه CO₂ (مثلاً حداکثر ۹۵ گرم CO₂ بر کیلومتر تا ۲۰۲۱) و برنامه‌های تشویقی مانند یارانه‌های خرید، انتظار می‌رود تا سال ۲۰۳۵، بیش از ۸۰ درصد از فروش خودروهای جدید خود را به خودروهای برقی اختصاص دهد [۲۸].

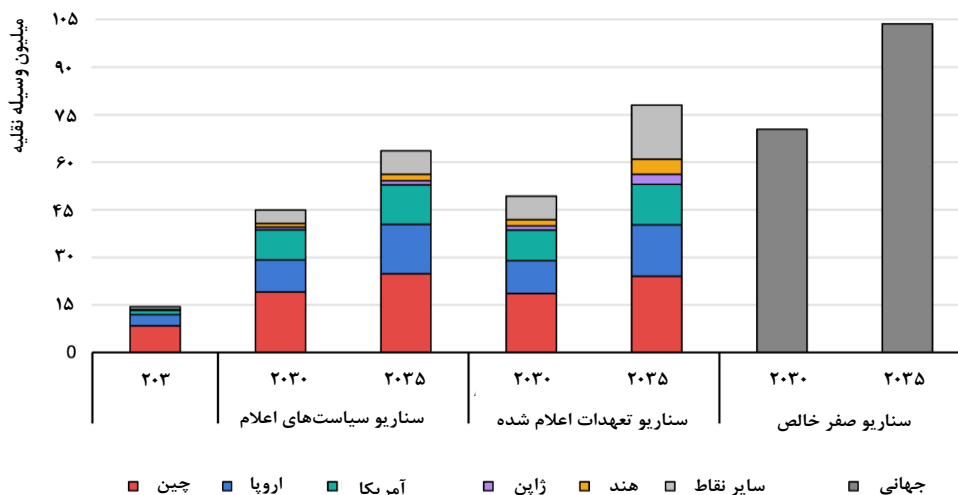
1. Ultra-Fast Chargers

2. Stated Policies Scenario - STEPS

3. Announced Pledges Scenario - APS

4. Net Zero Emissions by 2050 Scenario - NZE

در ایالات متحده، مقررات ایالتی مانند Advanced Clean Cars II در کالیفرنیا (هدف ۱۰۰ درصد فروش خودروهای برقی تا ۲۰۳۵) و حمایت‌های فدرال (مانند اعتبار مالیاتی ۷,۵۰۰ دلار) پیش‌بینی می‌کنند که فروش خودروهای سبک الکتریکی ۱ تا سال ۲۰۳۵ به ۷۰ درصد از بازار برسد [۲۹].



شکل ۶. فروش خودروهای الکتریکی بر اساس منطقه و سناریو، ۲۰۳۰ و ۲۰۳۵ [۴]

۵. حمل‌ونقل برقی در تهران

شهر تهران، پایتخت ایران، با حدود ۹/۹ میلیون [۳۰] نفر و به عنوان یکی از کلان‌شهرهای پرجمعیت منطقه نیز همانند سایر شهرهای بزرگ و پرجمعیت دنیا با مشکلاتی در زمینه آلودگی هوا و ترافیک مواجه است. طبق گزارش‌های سالانه، آلاینده‌های هوا در تهران به‌ویژه در فصل‌های سرد سال به شدت افزایش می‌یابد و این امر به طور مستقیم بر سلامت عمومی و کیفیت زندگی شهروندان تأثیر می‌گذارد. آلودگی ناشی از سوخت‌های فسیلی، به‌خصوص در بخش حمل‌ونقل، سهم زیادی در این معضل دارد [۳۱]. برقی‌سازی حمل‌ونقل در تهران به عنوان یکی از راهکارهای اصلی برای مقابله با این چنین مشکلات زیست‌محیطی و ترافیکی مطرح شده است. در سال‌های اخیر، اقداماتی همچون کاهش تعرفه گمرکی خودروهای برقی و سرمایه‌گذاری در ساخت ایستگاه‌های شارژ در مناطق مختلف تهران، گام‌های مهمی در راستای تحقق این هدف بوده است. به‌ویژه، توسعه ناوگان حمل‌ونقل عمومی برقی مانند اتوبوس‌ها و تاکسی‌های برقی و راه‌اندازی ایستگاه‌های شارژ در نقاط مختلف شهر، می‌تواند تأثیر زیادی در کاهش آلاینده‌ها و بهبود کیفیت هوای پایتخت داشته باشد. با این حال، تهران همچنان با چالش‌هایی همچون کمبود ایستگاه‌های شارژ، وابستگی به شبکه برق مبتنی بر سوخت‌های فسیلی و محدودیت‌های مالی مواجه است که نیازمند برنامه‌ریزی و همکاری‌های بین‌بخشی است. این بخش از پژوهش به تحلیل اقدامات کنونی در تهران، از جمله توسعه ناوگان حمل‌ونقل عمومی برقی و ساخت ایستگاه‌های شارژ، پرداخته و موانع و فرصت‌های پیش روی این تحول در پایتخت ایران را بررسی می‌کند. همچنین، پیشنهادهایی برای همگامی با اهداف جهانی و تحقق توسعه پایدار در تهران ارائه می‌دهد.

۵-۱. وضعیت کنونی ناوگان حمل‌ونقل

همان‌گونه که در جدول ۲ نشان داده شده، تعداد ناوگان فعال در خطوط اتوبوس تغذیه‌کننده شهر تهران و حومه در مجموع ۴۹۱۰ دستگاه است. تعداد ناوگان فعال در خطوط تاکسی شهر تهران نیز در مجموع ۷۸۷۸۴ دستگاه شامل تاکسی و ون است.

جدول ۲. تعداد ناوگان اتوبوس در وضعیت موجود تهران (سالنامه گزیده آمار حمل و نقل شهر تهران ۱۴۰۲ [۳۰])

نوع ناوگان	تعداد ناوگان وضع موجود
اتوبوس تندرو	۱۰۴۵
اتوبوس عادی	۳۷۰۰
مینی بوس	۷۰۰
جمع کل	۵۴۴۵

۵-۲. سیاست‌ها و قوانین در ایران

در ایران از سال ۱۳۷۴ قوانین و سیاست‌هایی در راستای کاهش آلودگی هوا و توسعه خودرو برقی تدوین شد. همان‌طور که مشخص است، در بسیاری از اسناد و قوانین به توسعه خودروی برقی برای کاهش آلودگی هوا اشاره شده است. از جمله مهم‌ترین قوانین در حوزه برقی‌سازی وسایل نقلیه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- **قانون حمل و نقل عمومی (۱۳۸۶):** برقی کردن خطوط و تخفیف گمرکی خودروهای برقی و هیبریدی.
- **سند محیط زیست:** توسعه حمل و نقل سبز و غیرفسیلی در کلان‌شهرها.
- **برنامه ششم توسعه (۱۳۹۶):** جایگزینی ۱۰ درصد موتورسیکلت‌های بنزینی با برقی.
- **قانون هوای پاک (۱۳۹۶):** نوسازی ناوگان عمومی با یارانه و معافیت مالیاتی خودروهای برقی و هیبریدی.
- **برنامه کاهش آلودگی تهران (۱۳۹۸):** نوسازی اتوبوس‌ها و موتورسیکلت‌های برقی.
- **قانون مالیات بر ارزش افزوده (۱۳۹۸):** معافیت مالیاتی خودروهای برقی و هیبریدی.
- **قانون ساماندهی خودرو (۱۴۰۱):** تدوین سند فناوری خودروهای برقی و شرایط واردات با اولویت کم‌مصرف‌ها.
- **برنامه هفتم توسعه (۱۴۰۳):** برقی‌سازی اتوبوس‌ها، تاکسی‌ها و موتورسیکلت‌ها برای رفع ناترازی انرژی.

۵-۳. پیشرفت‌ها و دستاوردها در زمینه برقی‌سازی حمل و نقل پایتخت

تهران در سال‌های اخیر، به‌ویژه از اوایل دهه ۱۴۰۰، گام‌های مؤثری در راستای برقی‌سازی ناوگان حمل و نقل شهری برداشته است که نشان‌دهنده عزم جدی این کلان‌شهر برای کاهش آلودگی هوا، بهبود کیفیت زندگی شهروندان، و حرکت به سوی توسعه پایدار شهری است. این دستاوردها، نتیجه همکاری بین نهادهای دولتی، بخش خصوصی، و برنامه‌ریزی‌های کلان‌شهری، در حوزه‌های مختلف از جمله نوسازی ناوگان اتوبوسرانی، تاکسیرانی، تأمین مالی، توسعه زیرساخت‌های شارژ، و مدیریت هوشمند انرژی قابل بررسی هستند. این اقدامات با اهداف ملی مانند قانون هوای پاک (۱۳۹۶) و برنامه هفتم توسعه (۱۴۰۳-۱۴۰۷) هم‌راستا است و با الگوهای جهانی برقی‌سازی نیز انطباق دارد.

۵-۳-۱. پیشرفت در ناوگان اتوبوس‌رانی

از برجسته‌ترین دستاوردها در بخش حمل و نقل عمومی، ورود اتوبوس‌های برقی به ناوگان اتوبوس‌رانی تهران است. تا پایان سال ۱۴۰۳، تعداد محدودی از اتوبوس‌های برقی با نام تجاری «هایگر» (وارداتی از چین) به چرخه حمل و نقل عمومی اضافه شده‌اند. این اتوبوس‌ها، مجهز به باتری‌های پیشرفته با ظرفیت ۴۲۳ کیلووات‌ساعت، قادر هستند با پیمایش متوسط ۲۵۰ کیلومتر (در شرایط عملیاتی با ظرفیت کامل مسافر و سیستم تهویه مطبوع روشن) عمل کنند. در اسفند ۱۴۰۳ از تعداد ۱۸۹ دستگاه اتوبوس برقی برای شهر تهران رونمایی شد.

۵-۳-۲. توسعه ناوگان تاکسیرانی

در حوزه تاکسیرانی، شهرداری تهران با هدف اجرای ماده ۲ قانون هوای پاک و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، برنامه‌ای گسترده برای جایگزینی خودروهای فرسوده با تاکسی‌های برقی در پیش گرفته است. تا پایان اسفند ۱۴۰۳، ۱۷۲ دستگاه خودروی فرسوده از ناوگان تاکسیرانی اسقاط شده و با تاکسی‌های برقی جدید جایگزین شده‌اند. این تاکسی‌ها، مدل JAC-E ۸۵۰،

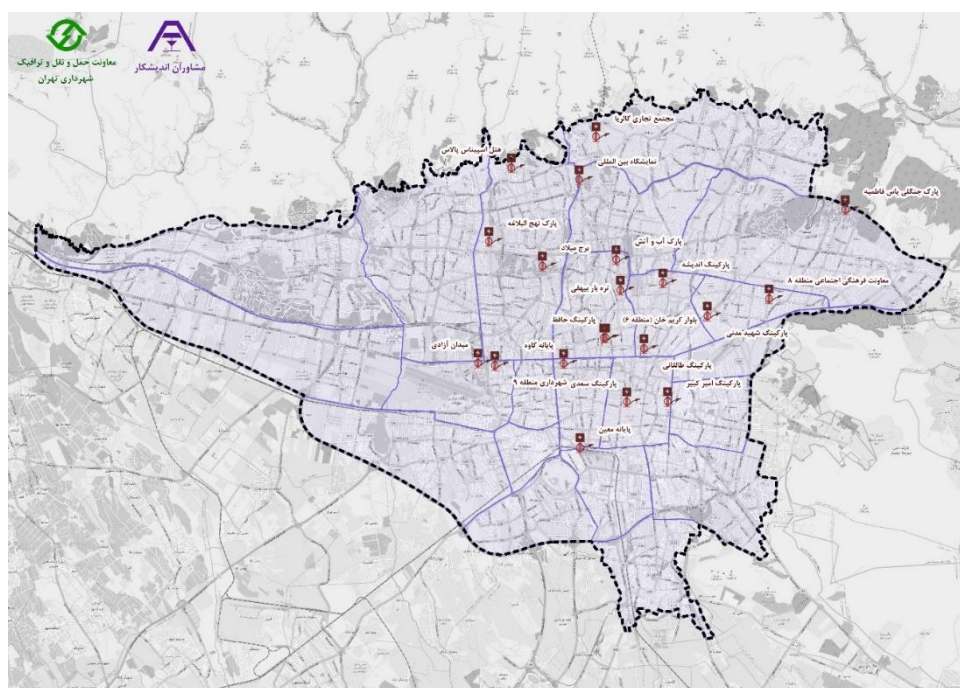
مجهز به باتری ۵۰ کیلووات‌ساعت هستند که پیمایشی معادل ۴۰۲ کیلومتر را در شرایط مطلوب فراهم می‌کند؛ شاخصی که آن‌ها را برای تردهای درون‌شهری طولانی مناسب می‌سازد. همچنین، مدل دوم تاکسی برقی که در اسفند ۱۴۰۳ رونمایی و معرفی شد جی‌ای‌سی (GAC) آیون S پلاس است که باتری ۵۸/۸ کیلووات‌ساعتی دارد و تا ۵۱۰ کیلومتر پیمایش می‌کند. این خودروها، با کارایی زیاد و هزینه عملیاتی پایین به عنوان گزینه‌ای اقتصادی و زیست‌محیطی معرفی شده‌اند. علاوه بر این، تفاهم‌نامه‌های متعددی بین شهرداری تهران و وزارت صنعت، معدن و تجارت و شرکت‌های خصوصی تولیدکننده و واردکننده خودرو منعقد شده که تأمین ۵۵ هزار دستگاه تاکسی برقی را هدف قرار داده است. این برنامه شامل تولید داخلی بخشی از ناوگان (با همکاری شرکت‌های داخلی) و واردات بخش دیگر است. تا کنون، تعدادی از این خودروها وارد کشور شده و در حال طی مراحل اخذ پلاک تاکسی هستند. در اسفند ۱۴۰۳ از تعداد ۱۷۵۲ دستگاه تاکسی برقی در شهر تهران رونمایی شد.

۵-۳-۳. حمایت‌های مالی و تسهیلات

برای پشتیبانی از این تحول، تفاهم‌نامه‌ای با بانک‌ها به امضا رسیده است که تسهیلات قرض‌الحسنه برای نوسازی ناوگان عمومی، از جمله تاکسی‌ها و اتوبوس‌ها، ارائه می‌دهد. این تسهیلات، با نرخ بهره صفر درصد و بازپرداخت طولانی‌مدت به رانندگان و مالکان ناوگان اجازه می‌دهد هزینه‌های اولیه خرید خودروهای برقی را تأمین کنند. این حمایت مالی، مشابه یارانه‌های موفق در نروژ (معافیت مالیاتی) و آلمان (۹ هزار یورو یارانه)، نقش مهمی در تسریع پذیرش فناوری‌های پاک در میان کاربران محلی ایفا می‌کند.

۵-۳-۴. توسعه زیرساخت‌های شارژ و مدیریت انرژی (وضع موجود)

یکی از ارکان کلیدی برقی‌سازی، توسعه زیرساخت‌های شارژ است که تهران در این زمینه نیز پیشرفت‌هایی داشته است. تا پایان سال ۱۴۰۳، ۲۱ ایستگاه شارژ با مجموع ۸۷ شارژر در مناطق مختلف شهر، از جمله برج میلاد، میدان آزادی، و پارکینگ حافظا، راه‌اندازی شده‌اند. این ایستگاه‌ها از شارژرهای با توان‌های مختلف در بازه ۷/۴-۱۲۰ کیلووات پشتیبانی می‌کنند که امکان شارژ آهسته و سریع خودروهای برقی را بر اساس نیاز فراهم می‌کند. موقعیت این ایستگاه‌های شارژ در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷. ایستگاه‌های شارژ وضع موجود در تهران

برنامه‌های آینده، مانند افزایش تعداد ایستگاه‌های عمومی و اختصاصی برای تاکسی و اتوبوس‌ها نشان‌دهنده عزم جدی برای گسترش زیرساخت‌ها است. از جمله مهم‌ترین این اقدامات شروع ساخت ایستگاه‌های شارژ اختصاصی اتوبوس برقی در توقفگاه‌های اتوبوس سازمان اتوبوس‌رانی به منظور سهولت استفاده و افزایش بهره‌وری و استفاده بهینه از انرژی برق موجود در شب است. اولین ایستگاه شارژ اختصاصی اتوبوس‌های برقی شهر تهران در توقفگاه اتوبوس برقی بعثت با ۶ خط، ۲۰ شارژر ۲۴۰ کیلووات و ۴۰ نازل ۱۲۰ کیلووات که قابلیت شارژ هم‌زمان ۴۰ اتوبوس را دارد در اسفند ۱۴۰۳ راه‌اندازی شد.

همان‌طور که بیان شد، یکی از راهکارهای مدیریت تأمین انرژی برق و جلوگیری از فشار بر شبکه برق شهری، استفاده از شارژ شبانه در توقفگاه‌های مخصوص، مانند توقفگاه بعثت است. در این روش از برق مازاد تولیدشده در شب استفاده می‌شود و باری بر شبکه اضافه نمی‌کند. این روش که با الگوبرداری از سیستم‌های مدیریت هوشمند در شهرهایی مانند پکن (با شارژ شبانه ۷۰ درصد ناوگان عمومی) طراحی شده، مصرف برق را در ساعات کم‌باری شبکه متعادل می‌کند و از اضافه‌بار در ساعات اوج مصرف (مانند ظهر تابستان) جلوگیری می‌کند. این رویکرد، ضمن افزایش پایداری شبکه، هزینه‌های شارژ را برای اپراتورها کاهش می‌دهد، زیرا تعرفه برق شبانه که در ساعات غیراوج قرار دارد پایین‌تر است. در راستای تأمین برق ایستگاه‌های شارژ تاکسی‌ها، شهرداری تهران به سمت استفاده از روش‌های نوین و پایدار حرکت کرده است. ایستگاه‌های شارژ درحال توسعه با بهره‌گیری از انرژی خورشیدی و نیروگاه‌های کوچک‌مقیاس خودتأمین طراحی می‌شوند. این روش، مشابه پروژه‌های موفق در نروژ (با شبکه ۹۸ درصد تجدیدپذیر)، نه تنها وابستگی به شبکه فسیلی را کاهش می‌دهد، بلکه انتشار CO₂ مرتبط با شارژ را به حداقل می‌رساند (از ۱۵۰ گرم بر کیلومتر در شبکه فسیلی به زیر ۲۰ گرم). نیروگاه‌های کوچک‌مقیاس نیز با تولید برق محلی، پایداری تأمین را در مناطق پرتراکم تضمین می‌کنند و از قطعی‌های احتمالی جلوگیری می‌کنند.

در شکل ۸، مشخصات فنی شارژرهای به‌کاررفته در ایستگاه شارژ توقفگاه بعثت، اتوبوس‌های برقی وارداتی و اولین تاکسی برقی واردشده به شهر تهران ارائه شده است.



شکل ۸. مشخصات فنی یکی از شارژرها، اتوبوس‌ها و تاکسی‌های برقی وارداتی در ایران

۵-۳-۵. تدوین سند طرح جامع برقی‌سازی وسایل نقلیه

یکی از اقدامات راهبردی مدیریت شهری تهران، تدوین «طرح جامع برقی‌سازی وسایل نقلیه در شهر تهران» است؛ سندی که با هدف بررسی همه‌جانبه ابعاد فنی، نهادی، زیربنایی و اقتصادی گذار به حمل‌ونقل برقی، توسط تیمی تخصصی در شرکت

مشاوران اندیشکار در حال تهیه است. این طرح با رویکردی جامع، به برقی‌سازی انواع شیوه‌های حمل‌ونقل شهری از جمله ناوگان عمومی (مانند اتوبوس‌ها)، نیمه‌خصوصی (نظیر تاکسی‌ها) و وسایل نقلیه شخصی و موتورسیکلت‌ها می‌پردازد. در این سند، با بهره‌گیری از تجربیات بین‌المللی، تلاش شده تا الگوهای موفق جهانی در زمینه توسعه ناوگان برقی، بومی‌سازی شود. یکی از محورهای مهم طرح، جانمایی و طراحی زیرساخت‌های لازم برای شارژ وسایل نقلیه برقی از جمله ایستگاه‌های شارژ ویژه اتوبوس‌ها، تاکسی‌ها و خودروهای شخصی است. همچنین، روش‌های تأمین برق مورد نیاز و چگونگی ارتقای ظرفیت شبکه توزیع انرژی شهری نیز مورد بررسی قرار گرفته است. این طرح در تلاش است تا با شناسایی الزامات فنی و نهادی و ایجاد هماهنگی میان نهادهای مسئول، مسیر تحقق برقی‌سازی را هموار کند و گامی مؤثر به منظور کاهش آلودگی هوا، بهبود کیفیت زندگی شهروندان و توسعه حمل‌ونقل پایدار در کلان‌شهر تهران بردارد.

۴-۵. چشم‌انداز و پتانسیل توسعه

تهران با افتتاح ایستگاه‌های شارژ پیشرفته و ورود اتوبوس‌ها و تاکسی‌های برقی به ناوگان حمل‌ونقل عمومی، در مسیر تبدیل شدن به یک کلان‌شهر پیشرو در حوزه حمل‌ونقل پایدار قرار گرفته است. ایستگاه‌هایی نظیر بعثت (تکمیل شده)، تقی‌آباد، و پایانه جدید شرق (در حال ساخت)، با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و منابع انرژی متنوع مانند انرژی خورشیدی، شبکه برق، و سیستم‌های ترکیبی، زیرساخت‌های قدرتمندی برای شارژ ناوگان برقی فراهم می‌کنند. این ایستگاه‌ها توانایی پشتیبانی هم‌زمان از تعداد قابل توجهی اتوبوس و تاکسی را دارند و با مدیریت هوشمند شارژ در ساعت‌های کم‌باری، به بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش فشار بر شبکه برق کمک می‌کنند. چشم‌انداز بلندمدت تهران، افزایش چشمگیر ناوگان برقی است؛ به طوری که تعداد اتوبوس‌های برقی از تعداد فعلی به چند هزار دستگاه در سال‌های آتی برسد و تعداد تاکسی‌های برقی نیز با ورود ده‌ها هزار دستگاه، چهره حمل‌ونقل عمومی شهر را دگرگون کند. این توسعه، با حمایت‌های مالی نظیر وام‌های بدون بهره برای رانندگان و ارائه خودروها با قیمت‌های یارانه‌ای، همراه با همکاری نهادهای علمی مانند دانشگاه صنعتی شریف، به تسریع پذیرش فناوری‌های پاک کمک خواهد کرد. علاوه بر این، گسترش ایستگاه‌های شارژ کوچک‌مقیاس در مناطق مختلف شهر و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، پایداری انرژی را تضمین می‌کند و وابستگی به سوخت‌های فسیلی را به حداقل می‌رساند. در نهایت، این تحولات، با هوشمندسازی سیستم حمل‌ونقل و کاهش آلودگی هوا، آینده‌ای سبز و پایدار برای پایتخت رقم خواهد زد و کیفیت زندگی شهروندان را بهبود خواهد بخشید.

۴-۵-۱. برنامه‌های توسعه حمل‌ونقل برقی در تهران

جدول ۳ و جدول ۴ اطلاعات ارائه‌شده توسط طرح جامع حمل‌ونقل و ترافیک شامل تعداد ناوگان اتوبوس و تاکسی فعال در شهر تهران در سال ۱۴۰۳ و تعداد ناوگان نیازمند نوسازی تا افق ۱۴۰۸ را نشان می‌دهند.

جدول ۳. توسعه و نوسازی ناوگان اتوبوس تا افق ۱۴۰۸ (منابع: طرح جامع حمل‌ونقل و ترافیک)

نوع ناوگان	تعداد ناوگان فعال موجود	تعداد ناوگان مورد نیاز برای تأمین		تعداد ناوگان مورد نیاز با احتساب ۱۵ درصد پشتیبان در افق ۱۴۰۸
		تعداد ناوگان نیازمند نوسازی	تعداد ناوگان جدید مورد نیاز	
اتوبوس تندرو	۱۰۴۵	۱۰۴۵	۱۰۵	۱۳۲۳
اتوبوس عادی	۳۷۰۰	۳۷۰۰	۰	۴۲۵۵
مینی‌بوس	۷۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۱۳۸۰
جمع کل	۵۴۴۵	۵۲۴۵	۶۰۵	۶۹۵۸

جدول ۴. توسعه و نوسازی ناوگان تاکسی تا افق ۱۴۰۸ (مرجع: طرح جامع حمل و نقل و ترافیک)

نوع ناوگان	تعداد ناوگان فعال	تعداد ناوگان نیازمند نوسازی	تعداد ناوگان جدید مورد نیاز	تعداد ناوگان مورد نیاز در افق ۱۴۰۸
خطی	۲۳۴۰۰	۱۲۰۰۰	۳۶۰۰	۲۷۰۰۰
ون	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۱۸۰۰	۴۸۰۰
اینترنتی (گردشی موجود)*	۱۶۱۰۰	۶۶۰۰	۴۰۰۰	۵۶۱۰۰
ویژه	۲۰۵۰۰	۰	۱۳۰۰۰	۳۳۵۰۰
جمع کل	۶۳۰۰۰	۲۱۶۰۰	۵۸۴۰۰	۱۲۱۴۰۰

* در سال افق کلیه تاکسی‌های گردشی به صورت اینترنتی فعالیت خواهند کرد.

مطابق با اطلاعات اخذشده از شرکت واحد اتوبوسرانی تهران و حومه شهرداری تهران، هدف‌گذاری شهرداری تهران در خصوص اتوبوس‌های برقی واردات 2500 دستگاه است.

همچنین، مطابق با اطلاعات اخذشده از سازمان مدیریت و نظارت بر تاکسیرانی شهر تهران، هدف‌گذاری شهرداری تهران و وزارت صمت در خصوص ورود خودروهای برقی در ۵ جدول نشان داده است. همان‌طور که مشخص است، شهرداری تهران باید ۳۷,۵۰۰ خودرو برقی (شامل ۲۷۵۰۰ دستگاه خودروی سدان و ۱۰ هزار دستگاه خودروی ون) وارد کرده و وزارت صمت نیز باید ۲۷,۵۰۰ خودرو برقی توسط خودروسازان داخلی وارد کند. بنابراین، انتظار می‌رود تا پایان سال هدف‌گذاری ۵۵ هزار دستگاه خودروی برقی در خطوط تاکسی شهر تهران فعالیت داشته باشند.

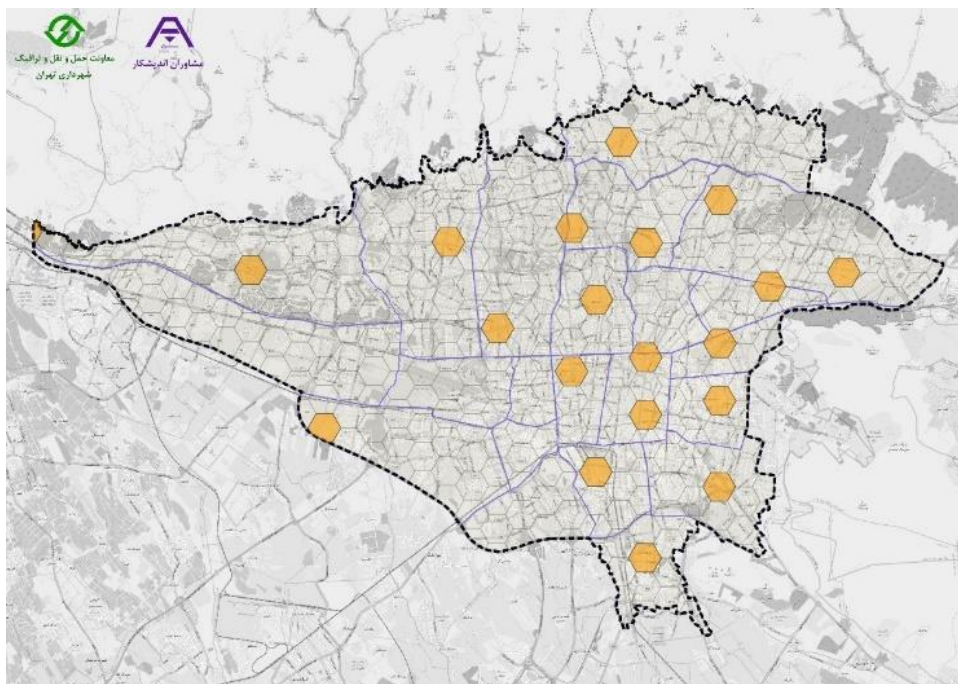
جدول ۵. هدف‌گذاری واردات تاکسی‌های برقی

سازمان	تعداد خودرو	تعداد خودرو ون
شهرداری تهران	۲۷,۵۰۰	۱۰,۰۰۰
وزارت صمت	۲۷,۵۰۰	-

۵-۴-۲. برنامه‌های توسعه و احداث ایستگاه‌های شارژ در شهر تهران

نقشه پیشنهادی شهر تهران برای احداث ایستگاه‌های شارژ تاکسی و اتوبوس برقی با تمرکز بر مناطق کلیدی و پرتردد طراحی شده است تا پاسخ‌گوی نیازهای ناوگان حمل و نقل عمومی باشد. هدف اصلی، ارائه نقاط پیشنهادی اولیه برای نصب ایستگاه‌های شارژ اختصاصی برای تاکسی و اتوبوس‌های برقی است تا نیاز این دسته از وسایل نقلیه برقی که از اهمیت بالایی در شهر برخوردارند را رفع کند. نقاط پیشنهادی اولیه برای نصب ایستگاه‌های شارژ تاکسی برقی با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از معیارهای کلیدی انتخاب شده‌اند. این نقاط در مناطقی قرار دارند که از نظر تراکم خطوط تاکسی و تعداد تاکسی‌های فعال، جزء پرترددترین مناطق شهر محسوب می‌شوند و تقاضای بالایی برای شارژ سریع را ایجاد می‌کنند. همچنین، پراکندگی جغرافیایی این نقاط به گونه‌ای طراحی شده که پوشش یکنواخت و متعادلی را در سطح شهر فراهم کند، به طوری که رانندگان در مناطق مختلف به ایستگاه‌های شارژ دسترسی داشته باشند. نزدیکی این مناطق به مراکز اصلی تجمع و تردد تاکسی‌ها، دسترسی سریع و آسان رانندگان را تسهیل می‌کند و زمان انتظار برای شارژ را کاهش می‌دهد. همچنان معیارهای بیشتری نظیر دسترسی به شبکه برق، وجود زمین و امکان احداث ایستگاه شارژ در این نقاط باید مورد بررسی قرار گیرد تا انتخاب نهایی نقاط مناسبی باشند و این محدوده‌ها فقط پیشنهاد اولیه هستند. با توجه به این شرایط، نقاط پیشنهادی اولیه برای نصب ایستگاه‌های شارژ سریع (DC) با توان بالا (۶۰ تا ۱۲۰ کیلووات) انتخاب شده‌اند. این ایستگاه‌ها می‌توانند باتری تاکسی‌ها را در بازه زمانی ۳۰ تا ۴۵ دقیقه تا ۸۰ درصد شارژ کنند که برای تداوم فعالیت تاکسی‌ها با پیمایش روزانه ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر بسیار حیاتی است. همچنین، نصب ایستگاه‌های شارژ کند (AC) در مناطق مسکونی و پارکینگ‌های عمومی نیز پیش‌بینی شده است تا رانندگان بتوانند در ساعات غیرکاری، به‌ویژه طی شب، خودروهای خود را شارژ کنند. این رویکرد ترکیبی، با هماهنگی زیرساخت‌های شارژ با

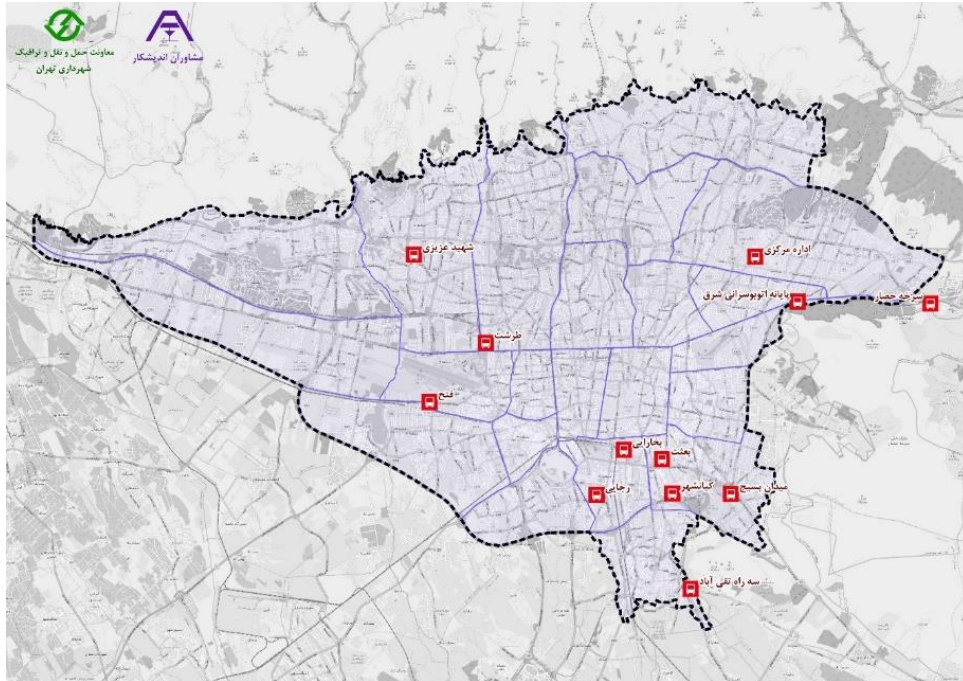
نیازهای عملیاتی ناوگان تاکسیرانی، به توسعه پایدار حمل‌ونقل عمومی در تهران کمک می‌کند. شکل ۹ موقعیت کلی نقاط اولیه پیشنهادی برای نصب ایستگاه‌های شارژ تاکسی برقی را نشان می‌دهد.



شکل ۹. نواحی اولیه پیشنهادی برای نصب ایستگاه شارژ تاکسی برقی

احداث ایستگاه‌های شارژ برای اتوبوس‌های برقی در شهر تهران، به عنوان بخشی از برنامه برقی‌سازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی، نیازمند طراحی دقیق و انتخاب نقاط استراتژیک است. این برنامه‌ریزی با هدف افزایش کارایی عملیاتی اتوبوس‌های برقی، کاهش زمان توقف، و پشتیبانی از عملیات روزانه ناوگان اتوبوس‌رانی انجام شده است. ایستگاه‌های شارژ برای اتوبوس‌های برقی با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از معیارهای کلیدی، عمدتاً در توقفگاه‌های اتوبوس‌رانی پیش‌بینی شده‌اند. این توقفگاه‌ها که در انتهای خطوط یا مناطق عملیاتی شرکت واحد اتوبوس‌رانی قرار دارند، به دلیل دسترسی به فضای کافی و امکان استفاده بهینه از زیرساخت‌های موجود، انتخاب شده‌اند. قرارگیری ایستگاه‌های شارژ در این مکان‌ها، مدیریت متمرکز ناوگان را تسهیل می‌کند و هماهنگی بین برنامه حرکت اتوبوس‌ها و زمان‌بندی شارژ را بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، توقفگاه‌ها به دلیل موقعیت جغرافیایی مناسب و نزدیکی به مسیرهای پرتردد، امکان شارژ سریع در زمان‌های استراحت کوتاه اتوبوس‌ها را فراهم می‌کنند. از سوی دیگر، این نقاط از نظر زیرساختی به شبکه برق پایدار متصل هستند و قابلیت توسعه آتی ایستگاه‌ها را دارند. همچنین، طراحی این ایستگاه‌ها با در نظر گرفتن استفاده از شارژ شبانه همان‌طور که پیش از این بررسی شد سبب کاهش فشار به شبکه برق، کاهش هزینه انرژی و افزایش بهره‌وری انرژی می‌شود.

با توجه به این شرایط، ایستگاه‌های شارژ در توقفگاه‌های اتوبوس‌رانی همگی مجهز به شارژرهای سریع (DC) با توان بالا می‌شوند. این شارژرها می‌توانند باتری اتوبوس‌ها را طی ۳ تا ۳/۵ ساعت تا ۸۰ درصد شارژ کنند که برای حفظ برنامه حرکت و جلوگیری از تأخیر در خطوط پرمسافر بسیار حیاتی است. موقعیت توقفگاه‌های پیشنهادی اتوبوس برای نصب ایستگاه شارژ اتوبوس برقی در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰. توقفگاه‌های اتوبوس‌رانی پیشنهادی برای نصب ایستگاه شارژ

۵-۴-۳. تحلیل SWOT وضعیت برقی‌سازی حمل‌ونقل در تهران

برای ارزیابی جامع وضعیت کنونی برقی‌سازی حمل‌ونقل در تهران، تحلیل SWOT (قوت‌ها، ضعف‌ها، فرصت‌ها، و تهدیدها) انجام شده است. این تحلیل، عوامل داخلی (قوت‌ها و ضعف‌ها) و خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها) مؤثر بر توسعه حمل‌ونقل برقی در تهران را شناسایی کرده و چارچوبی برای تدوین استراتژی‌های آینده فراهم می‌کند. نتایج این تحلیل در شکل ۱۱ ارائه شده است و به عنوان پایه‌ای برای پیشنهادها عملی در بخش نتیجه‌گیری استفاده خواهد شد.



شکل ۱۱. تحلیل SWOT برقی‌سازی حمل‌ونقل در تهران

تحلیل SWOT برقی‌سازی حمل‌ونقل تهران نشان می‌دهد تهران در آستانه تحولی سبز قرار دارد، اما موفقیت آن به رفع شکاف‌های زیرساختی و سیاستی بستگی دارد. وجود حمایت‌های ملی و مشارکت بخش خصوصی، پتانسیل قوی برای مقیاس‌بندی ناوگان برقی ایجاد کرده، اما محدودیت‌های زیرساختی و وابستگی به شبکه برق فسیلی، مشابه چالش‌های هند، کارایی زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد. پتانسیل انرژی خورشیدی و امکان همکاری منطقه‌ای با کشورهایی مانند ترکیه و چین برای انتقال فناوری، فرصت‌هایی کلیدی برای شتاب‌دهی به این تحول هستند. با این حال، ناهماهنگی سیاستی، مانند تجربه اسپانیا، می‌تواند پیشرفت را متوقف کند. برای تبدیل تهران به الگویی منطقه‌ای، باید: (۱) شبکه شارژ خورشیدی گسترش یابد، (۲) یارانه‌های هدفمند برای کاهش هزینه‌های ناوگان اعمال شود، و (۳) برنامه آموزشی برای نیروی انسانی و هماهنگی بین‌نهادی تقویت شود. این استراتژی‌ها، با بهره‌گیری از پتانسیل‌های موجود، تهران را به سمت حمل‌ونقل پایدار هدایت خواهند کرد.

۶. بحث و تحلیل داده‌ها

برقی‌سازی حمل‌ونقل تهران، به عنوان راهکاری برای کاهش آلودگی هوا و تحقق توسعه پایدار، در مراحل ابتدایی اما امیدوارکننده‌ای قرار دارد. تا پایان ۱۴۰۳، تهران ۱۸۹ اتوبوس و ۱۷۵۲ تاکسی برقی به ناوگان خود افزوده و ۸۷ شارژر در ۲۱ ایستگاه نصب کرده است. این پیشرفت‌ها، هرچند نسبت به کل ناوگان (۴۹۱۰ اتوبوس، ۷۸۷۸۴ تاکسی) محدود است، با حمایت‌های سیاستی (قانون هوای پاک) و قراردادهای بخش خصوصی نشان‌دهنده عزم جدی برای تحول سبز است. در مقایسه، چین با ۸/۴ میلیون خودروی برقی و ۸/۶ میلیون شارژر از سرمایه‌گذاری ۱۵ میلیارد دلاری و سیاست‌های سخت‌گیرانه (ممنوعیت فسیلی در پکن) بهره برده، و نروژ با شبکه برق ۹۸ درصد تجدیدپذیر و ۲۰ هزار شارژر، ۹۰ هزار فروش خودروهای جدید را برقی کرده است. تهران اما با چالش‌هایی مانند کمبود زیرساخت، شبکه برق فسیلی، و هزینه‌های بالای ناوگان مواجه است. تحلیل SWOT نشان می‌دهد قوت‌های تهران، مانند حمایت سیاستی و همکاری خصوصی، با فرصت‌هایی نظیر پتانسیل انرژی خورشیدی و همکاری منطقه‌ای برای انتقال فناوری تقویت می‌شود، اما تهدیدهای ناهماهنگی سیاستی (مشابه اسپانیا) و محدودیت بودجه مانع پیشرفت‌اند. نتایج در چارچوب سه‌گانه توسعه پایدار نشان می‌دهند برقی‌سازی می‌تواند انتشار CO₂ را ۲۰ درصد کاهش دهد (با ۵۰ درصد برق تجدیدپذیر)، هزینه‌های عملیاتی را از ۱۰ به ۱/۵ سنت بر کیلومتر برساند، و پذیرش اجتماعی را ۳۰ درصد افزایش دهد، مشابه اسلو. درس‌آموخته‌ها از چین (زیرساخت عظیم)، نروژ (یارانه و برق پاک)، و شکست اسپانیا (ناهماهنگی سیاستی) تأکید دارند که تهران باید زیرساخت، حمایت مالی، و هماهنگی نهادی را اولویت‌بندی کند. این تحلیل، با تکیه بر تجربیات جهانی و شرایط محلی، چارچوبی برای سیاست‌گذاری مؤثر در تهران فراهم می‌کند.

۶-۱. نتیجه‌گیری و پیشنهادهای عملی

برقی‌سازی حمل‌ونقل تهران، با پتانسیل کاهش آلودگی و هزینه‌ها، در گرو غلبه بر موانع زیرساختی، مالی، و سیاستی است. مقایسه با چین و نروژ نشان می‌دهد موفقیت به زیرساخت قوی، حمایت مالی پایدار، و هماهنگی سیاستی وابسته است، در حالی که شکست‌های اسپانیا و هند (ناهماهنگی و کمبود سرمایه‌گذاری) درس‌هایی کلیدی ارائه می‌دهند. برای تبدیل تهران به پیشرو منطقه‌ای در حمل‌ونقل پایدار، پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

۱. شبکه شارژ خورشیدی هوشمند: توسعه ایستگاه‌های شارژ سریع تا ۱۴۰۸ با اولویت مناطق پرترافیک (مانند بازار و آزادی) و استفاده از پنل‌های خورشیدی برای ۳۰ درصد انرژی مورد نیاز، با الگوبرداری از دانمارک و بهره‌گیری از پتانسیل خورشیدی تهران. این شبکه با سیستم‌های ذخیره‌سازی باتری و شارژ شبانه، پایداری را تضمین می‌کند.
۲. مشوق‌های مالی هدفمند: تخصیص یارانه ۵۰ درصد برای خرید اتوبوس‌های برقی و معافیت مالیاتی ۱۰ ساله برای تاکسی‌های برقی، مشابه نروژ. ایجاد صندوق سرمایه‌گذاری مشترک دولت و بخش خصوصی برای تولید باتری در ایران، با هدف کاهش ۳۰ درصد هزینه‌ها تا ۱۴۰۷.
۳. تقویت پذیرش اجتماعی از طریق آموزش: اجرای کمپین‌های دیجیتال و میدانی با شعار «تهران پاک» برای آموزش مزایای برقی‌سازی (کاهش ۸۰ درصد هزینه سوخت)، مشابه اسلو. ارائه مشوق‌های محلی مانند پارکینگ رایگان و

- دسترسی به خطوط BRT برای رانندگان برقی.
۴. نوسازی ناوگان با فناوری بومی: جایگزینی ۵۰ درصد اتوبوس‌های فرسوده با مدل‌های برقی تا ۱۴۰۸، با توسعه باتری‌های ۴۰۰ کیلومتری در همکاری با استارت‌آپ‌های داخلی. ایجاد مراکز آموزش فنی در تهران برای ۵۰۰ تکنسین تخصصی تا ۱۴۰۶.
۵. چارچوب سیاستی یکپارچه: تدوین «طرح جامع برقی‌سازی ۱۴۰۸» با هدف ۲۵ درصد ناوگان برقی، شامل استانداردهای آلاینده‌ی یورو ۶ و تشکیل شورای هماهنگی با حضور شهرداری، وزارت صمت، و شرکت‌های خصوصی برای اجرای یکپارچه، با درس از شکست اسپانیا.
۶. انتقال به انرژی پاک: افزایش سهم انرژی خورشیدی و بادی در شبکه برق تهران تا ۱۴۰۸، و استفاده از قابلیت شارژ شبانه خودروها برای مدیریت بار، مشابه چین.
- این استراتژی‌ها، با تکیه بر قوت‌های تهران (حمایت سیاستی، بخش خصوصی) و فرصت‌های جهانی (انرژی خورشیدی، همکاری منطقه‌ای)، موانع زیرساختی و سیاستی را رفع کرده و تهران را به الگویی پایدار در خاورمیانه تبدیل می‌کنند. تعهد بلندمدت دولت، بخش خصوصی، و جامعه برای اجرای این پیشنهادها، کلید کاهش آلودگی، بهینه‌سازی هزینه‌ها، و ارتقای کیفیت زندگی در پایتخت است.

منابع

1. Climate Change 2022 - Mitigation of Climate Change: Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press; 2023.
2. Creutzig F, Jochem P, Edelenbosch OY, Mattauch L, Vuuren DPv, McCollum D, et al. Transport: A roadblock to climate change mitigation? *Science*. 2015;350(6263):911-2.
3. Climate W. Greenhouse gas emissions by sector. *Our World in Data*; 2024.
4. International Energy A. Global EV Outlook 2024. Paris, France: IEA; 2024.
5. World Health O. Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease. Geneva, Switzerland: WHO; 2016.
6. Energy USDo. Internal Combustion Engine Efficiency and Energy Loss. 2024.
7. United Nations DoE, Social A. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. New York, NY, USA: United Nations; 2018.
8. International Energy A. Transport - Energy System. Paris, France: IEA; 2023.
9. Ritchie H, Rosado P, Roser M. Breakdown of carbon dioxide, methane and nitrous oxide emissions by sector. *Our World in Data*. 2020.
10. European Environment A. Air Quality in Europe 2023. Copenhagen, Denmark: EEA; 2023.
11. Intergovernmental Panel on Climate C. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC; 2022.
12. China Electricity C. Annual Report on China's Power Industry Development 2023. Beijing, China: CEC; 2023.
13. Norwegian Water R, Energy D. Measurements of Norwegian Glaciers in 2023. Oslo, Norway: NVE; 2023.
14. Hawkins TR, Singh B, Majeau-Bettez G, Strømman AH. Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. *Journal of Industrial Ecology*. 2013;17(1):53-64.
15. Barry K. Will an Electric Car Save You Money? *Consumer Reports*. 2023.
16. United Nations Framework Convention on Climate C. The Paris Agreement. Paris, France: UNFCCC; 2015.
17. Agency USEP. Summary of the Clean Air Act Washington, DC, USA: EPA; 2024 [Available from: <https://www.epa.gov>].
18. Internal Revenue S. Inflation Reduction Act of 2022 Washington, DC, USA: IRS; 2024 [Available from: <https://www.irs.gov/inflation-reduction-act-of-2022>].
19. European C. Delivering the European Green Deal Brussels, Belgium: European Commission; 2021 [Available from: <https://commission.europa.eu>].
20. Norwegian Electric Vehicle A. Norwegian EV Market: Electric Vehicle Sales Statistics 2023. Oslo, Norway: Norsk Elbilforening; 2023.
21. BloombergNef. Electric Vehicle Battery Price Survey 2023. BloombergNEF; 2023.
22. European C. 2023 Strategic Foresight Report: sustainability and wellbeing at the heart of Europe's Open Strategic Autonomy. Brussels, Belgium: European Commission; 2023 2023/07/04.
23. Roland B. Electric vehicle charging index 2024. Roland Berger GmbH; 2024.
24. Ministry of I, Information T. Revision of the Dual-Credit Policy for New Energy Vehicles (NEVs) 2023. Beijing, China: MIIT; 2023.
25. Bastida-Molina P, Ribó-Pérez D, Gómez-Navarro T, Hurtado-Pérez E. What is the problem? The obstacles to the electrification of urban mobility in Mediterranean cities. Case study of Valencia, Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022;166:112649.
26. Tarei PK, Chand P, Gupta H. Barriers to the adoption of electric vehicles: Evidence from India. *Journal of Cleaner Production*. 2021;291:125847.
27. Noel L, Sovacool BK. Why Did Better Place Fail?: Range anxiety, interpretive flexibility, and electric vehicle promotion in Denmark and Israel. *Energy Policy*. 2016;94:377-86.
28. European Environment A. Transport and environment report 2023: Towards sustainable mobility in Europe. Copenhagen, Denmark: EEA; 2023.
29. Agency USEP. [Electric vehicle charging]. 2023.

- 30.Co MMPMG. Selected statistics of transportation and traffic in Tehran 2023. Tehran: Tehran Transportation and Traffic Organization; 2024.
- 31.Riahinia S, Moeini-Aghaie M, Fotuhi-Firuzabad M, Maddagh H. Impact of electric transportation on air pollution indicators in Tehran metropolis. 14th International Conference on Transportation and Traffic Engineering; Tehran 2015.



A Smart IoT-VR Framework for Designing Urban Flood Warning Systems

Ramtin Tavooosi Rad¹ | Mohammad Ansari Ghojghar^{2*}

1. Master Candidate, Department of Reclamation of arid and mountainous regions Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: ramtintavosirad@ut.ac.ir

2. Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Reclamation of arid and mountainous regions Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: ansari.ghojghar@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

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

Keywords:
Internet of Things (IoT),
Warning System,
Integrated Management,
Virtual Reality (VR).

ABSTRACT

Urban floods are among the most significant environmental, social, and economic natural hazards in urban watersheds. This research aims to explore the feasibility of utilizing cutting-edge Internet of Things (IoT) and Virtual Reality (VR) technologies for designing smart urban flood warning systems. Using a descriptive-analytical approach based on previous studies and library resources, this research analyzes the concept of urban flooding, flood warning systems, and the impact of IoT and VR on flood control. Flood warning systems play a crucial role in predicting and managing urban floods. IoT is employed for collecting, processing, and analysing large-scale environmental data and sharing the obtained information with other systems in a cloud-based shared environment. VR can be used to materialize scenarios and simulate them to find optimal solutions. The results of this research indicate that the use of these technologies leads to increased prediction accuracy, reduced response time during crises and lower costs during urban floods.

Cite this article: Tavooosi Rad, R. & Ansari Ghojghar, M. (2025). A Smart IoT-VR Framework for Designing Urban Flood Warning Systems. *Urban Development Policy Making*, 2 (2), 231-245. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.517126.1033>



© Ramtin Tavooosi Rad, Mohammad Ansari Ghojghar
DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.517126.1033>

Introduction

Floods are consistently among the most dangerous and serious natural threats to humans, causing significant economic, social, and infrastructural. The ability to predict and control floods is now of paramount importance. Urban flooding occurs when the capacity of both natural and drainage systems is insufficient to handle rainfall and runoff volume in an urban area. The advancements in technology and artificial intelligence now allow for accurate predictions at various levels of natural disaster control, including floods, leveraging the rapid learning and analytical capabilities of these technologies. Using smart technologies for disaster prevention and early warnings is a recent trend, rapidly advancing due to increased information availability and the combination of artificial intelligence, big data, and the Internet of Things. Flood detection and warning systems are vital for predicting flood-prone areas.

The metaverse is a digital world allowing for the realistic depiction of physical-world phenomena in a virtual environment. Virtual Reality (VR), a promising tool in various research areas, is increasingly utilized. However, the integration of IoT and metaverse VR in flood warning systems has been limited. This research goal is to provide a smart, integrated framework using modern technologies like IoT and the metaverse's VR to design and build flood warning systems.

Methodology

Because IoT systems exchange significantly more data than traditional user-device interactions, they generate a large volume of data. Sharing this IoT data in a cloud environment enables extensive data analysis to support future decision-making. The large volume and diversity of shared data improve the accuracy of predictions in similar situations. IoT-based flood warning systems comprise multiple layers for data acquisition and transmission. A sensor layer uses highly sensitive sensors to collect environmental data. This massive data volume is then transmitted to a cloud environment using wireless networks and IoT. Once in the cloud, advanced AI algorithms analyze the data, identifying and extracting theoretical characteristics of water flow energy. Emerging technologies like Virtual Reality (VR) therefore greatly facilitate the design of warning systems. VR create a realistic experience, a virtual environment closely mirroring the real-world. By placing individuals in simulated high-risk situations, their reactions are evaluated. Repeating this process improves decision-making skills, allowing the lessons learned to be used to train others and further enhance the virtual environment.

Conclusion

This research clearly demonstrates that combining IoT and VR technologies creates an innovative and efficient model for designing urban flood warning systems. This not only reduces response times and improves flood prediction but also enhances public awareness and preparedness. IoT can be used to collect, evaluate, and analyze large-scale data from specialized environmental sensors. VR's ability to create realistic simulations is beneficial for training citizens and emergency personnel, improving their ability to remain calm and effectively manage situations. This prepares decision-makers for various scenarios, preventing unforeseen events and mitigating the element of surprise. With prior preparation and appropriate measures, damage from destructive climate events is reduced, citizens' lives return to normal life and significant savings are achieved in terms of lost capital and expenses. Therefore, using VR and IoT in flood warning systems offers significant social and economic advantages. In general, employing intelligent systems for managing natural phenomena is crucial, transforming recorded observations into modern technologies applicable to disaster-prone areas.



ارائه چارچوب هوشمند IoT-VR به منظور طراحی سامانه‌های هشدار سیلاب شهری

رامتین طاوسی راد^۱ | محمد انصاری قوجقار^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: ramtintavosirad@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: ansari.ghojghar@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰

کلیدواژه:

اینترنت اشیا،

سیستم هشدار،

مدیریت یکپارچه،

واقعیت مجازی.

سیلاب‌های شهری، از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی در آبخیزهای شهری هستند. برای پیشگیری و مدیریت یکپارچه بلایای طبیعی باید از راهکارهای هوشمندانه و به‌روز استفاده کرد. این پژوهش، با هدف امکان‌به‌کارگیری فناوری‌های نوین اینترنت اشیا و واقعیت مجازی، به منظور طراحی سامانه‌های هشدار هوشمند سیلاب شهری انجام شد. در پژوهش حاضر، با استفاده از مطالعات پیشین انجام‌شده و منابع کتابخانه‌ای به روش توصیفی - تحلیلی، مفهوم سیلاب شهری، سامانه‌های هشدار سیلاب، تأثیر اینترنت اشیا و واقعیت مجازی بر کنترل پدیده سیلاب مورد تحلیل قرار گرفته است. سامانه‌های هشدار سیلاب برای پیش‌بینی و مدیریت سیلاب شهری نقش مهمی را ایفا می‌کنند. از اینترنت اشیا به منظور جمع‌آوری، پردازش، تحلیل داده‌های کلان محیطی و اشتراک‌گذاری اطلاعات به‌دست‌آمده در محیط اشتراکی ابری با سایر سامانه‌ها بهره‌برد و از واقعیت مجازی می‌توان به منظور عینیت‌بخشی به سناریوها و شبیه‌سازی آن‌ها برای یافتن راهکارهای بهینه برای هر سناریوی ممکن و آمادگی کامل در برابر سناریوها استفاده کرد. نتایج این پژوهش نشان داد استفاده از این فناوری‌ها به افزایش دقت پیش‌بینی‌ها، کاهش زمان مورد نیاز برای کنترل بحران و کاهش هزینه‌ها هنگام وقوع سیلاب شهری می‌انجامد. این پژوهش می‌تواند یک گام مهم در جهت مدیریت هوشمند فضای شهری هنگام وقوع بلایای طبیعی و همچنین کاهش خطرات پدیده‌های حدی نظیر سیلاب منجر شود.

استناد طاوسی راد، رامتین و انصاری قوجقار، محمد (۱۴۰۴). ارائه چارچوب هوشمند IoT-VR به منظور طراحی سامانه‌های هشدار سیلاب شهری. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۲ (۲) ۲۳۱-۲۴۵.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.517126.1033>

© رامتین طاوسی راد، محمد انصاری قوجقار

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.517126.1033>



مقدمه

با افزایش سریع دما، شدت جابه‌جایی مولکول‌های هوا افزایش می‌یابد که یکی از پیامدهای اصلی و نگران‌کننده آن، وقوع سیلاب است. به نحوی که پیش‌بینی می‌شود در سراسر جهان بیش از یک میلیارد نفر در خطر وقوع این پدیده ناشی از تغییرات آب‌وهوایی هستند [۱]. سیلاب‌ها همواره جزء خطرناک‌ترین و جدی‌ترین تهدیدهای طبیعی برای انسان‌ها بوده و طی سالیان گذشته از بعد اقتصادی، اجتماعی و زیرساختی، خسارت‌های قابل توجهی به جوامع انسانی وارد می‌کنند [۲]. همچنین، سیلاب رتبه اول را در بین بلایای طبیعی از نظر فراوانی دارد [۳]. طبق گزارش‌های آماری، خسارت‌های ناشی از سیلاب، سالانه به میلیاردها دلار می‌رسد [۴]. امروزه توانایی پیش‌بینی و کنترل سیلاب‌ها اهمیت زیادی دارد. گرمایش جهانی و تغییر اقلیم که از بزرگ‌ترین چالش‌های دهه‌های اخیر هستند، باعث تغییر الگوها و پدیده‌های جوی در سراسر دنیا شده است [۵]. همچنین، بر اثر تغییرات جوی و کاربری اراضی، وقوع سیلاب در نقاط مختلف در حال افزایش است که این امر موجب تحمیل خسارت‌های زیادی به نواحی شهری و غیر شهری می‌شود [۶]. سیلاب شهری زمانی اتفاق می‌افتد که ظرفیت هر دو سیستم طبیعی و زهکشی نتواند پاسخ‌گوی حجم بارش و رواناب در یک منطقه شهری باشد. رواناب سطحی بالا ناشی از بارندگی شدید به دلیل سطوح نفوذناپذیر و تراکم ساختمانی بالا، باعث تشدید سیلاب شهری می‌شود [۷]. به همین دلیل، باید با در نظر گرفتن تغییرات، از به وجود آمدن خسارت‌های آتی جلوگیری شود. تغییرات محیطی اهمیت ویژه‌ای دارد و به نظر می‌رسد که پیش‌بینی سیل در کشورهای در حال توسعه، در حال پیشرفت است [۸]. روابط بارش و رواناب و ایجاد سیل در یک منطقه، به منظور پیش‌بینی سیل خیزی، لزوماً از روابط خطی پیروی نمی‌کند، بلکه این پدیده باید به صورت یک رابطه غیرخطی و پوشیده بررسی شود [۹]. یکی از موضوعات مهم در زمینه آمادگی در برابر پدیده سیلاب، پیش‌بینی و آمادگی افراد برای مقابله با سیلاب است [۲]. متأسفانه اکثر راه‌حل‌هایی که در حال حاضر در مدیریت سیلاب استفاده می‌شوند، با مشکلات بسیاری مواجه هستند که می‌توان به مواردی همچون تأخیر و دقت سطح پایین پیش‌بینی‌های مدل‌سازی شده اشاره کرد. به‌علاوه، راه‌حل‌های معمول، تمام نقاط ناحیه شهری را دارای سطح یکسانی از آسیب‌پذیری در نظر می‌گیرند، در حالی که هر منطقه در ناحیه شهری، ممکن است از لحاظ شرایط توپوگرافی و ... متفاوت باشد [۱۰]. در دهه‌های اخیر، محدودیت‌های مقابله با سیلاب به وسیله روش‌های سنتی و فقط با استفاده از شیوه‌های ساختاری (ساخت سد و ...) ثابت شده است [۱۱]. پیش‌بینی‌های دقیق به منظور ارتقای اعتماد جامعه انجام می‌گیرد، به طوری که هنگام دریافت هشدار، شهروندان پاسخ لازم را نشان دهند. امروزه، با توجه به ظهور و پیشرفت روزافزون فناوری‌ها و هوش مصنوعی، این امکان به عمل آمده تا با استفاده از قدرت یادگیری و تجزیه و تحلیل بسیار سریع فناوری‌ها، به پیش‌بینی‌های دقیق در سطوح مختلف کنترل بلایای طبیعی از جمله سیلاب دست یابیم [۱۲]. استفاده از فناوری‌های هوشمند برای پیش‌گیری از بلایا و هشدارهای اولیه یک روند جدید در سال‌های اخیر است [۱۳]. پیشرفت این فناوری‌ها در سالیان اخیر اوج بسیار زیادی گرفته و با فوران دریافت اطلاعات و همچنین ترکیبی از هوش مصنوعی^۱، داده کلان و اینترنت اشیا^۲، این پتانسیل را دارد پدیده‌های غیرخطی را با دقت بیشتری پیش‌بینی کرده و همچنین همگرایی تکنیک‌های پیشرفته برای تحلیل سیل را تسریع می‌کند [۱۴]. سیستم‌های شناسایی و هشدار سیلاب نقش حیاتی در پیش‌بینی مناطق مستعد سیلاب و ارسال پیام‌های هشدار از طریق پیامک به واحدهای پاسخ‌دهی اضطراری و ساکنان آن مناطق ایفا می‌کنند [۱۵]. دنیای متاورس^۳ یک دنیای دیجیتالی است که به ما توانایی ساختن و نشان دادن پدیده‌های دنیای فیزیکی را به صورت کاملاً واقع‌گرایانه در یک محیط مجازی می‌دهد. متاورس یک یا چند محیط مجازی، فیزیکی و دیجیتالی است که با همگرایی بین اینترنت و فناوری‌های وب تجهیز می‌شود. فضای متاورس، دنیای مجازی و فیزیکی را بنا به نیازهای مختلف به درجات مختلف ادغام کرده است. به عنوان مثال، واقعیت افزوده^۴، واقعیت ترکیبی و واقعیت مجازی^۵، در این طیف تعریف می‌شود [۱۶]. واقعیت مجازی به عنوان ابزاری مفید و امیدوارکننده در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی، روزبه‌روز کاربرد بیشتری پیدا می‌کند. چندین حوزه

1. Artificial Intelligence
2. Internet Of Things
3. Metaverse
4. Augmented Reality
5. Virtual Reality

به طور فزاینده‌ای از پتانسیل آن بهره می‌برند [۱۷]. پیشرفت‌های جدید در فناوری‌ها، فرصتی برای جمع‌آوری و ترکیب داده‌های اجتماعی با مشاهدات و تصاویر میدانی به وجود می‌آورد که می‌توان این اطلاعات را به یک برنامه تحت وب تبدیل کرد تا خطرات سیلاب را نظارت و ارزیابی کند و این اطلاعات را به صورت به‌روز با شهروندان ارتباط دهد [۱۸].

در مطالعات انجام‌گرفته، ادغام فناوری‌های اینترنت اشیا و فضای متاورسی واقعیت مجازی در سامانه‌های هشدار سیلاب کم‌رنگ بود. از آنجا که کشور ایران درگیر پدیده‌های حدی اقلیمی است، برای کاهش خسارت‌های ناشی از آن، طراحی سامانه‌های هشدار، از ملزومات مهم برای مدیریت یکپارچه این‌گونه پدیده‌ها است. در مطالعه حاضر، سعی شده است برای اولین بار با تلفیق فناوری اینترنت اشیا و فضای متاورسی به هوشمندسازی مدیریت یکپارچه پدیده‌های هیدرولوژیکی، کمک شایانی کرده باشد. هدف از این پژوهش، ارائه چارچوبی هوشمند و تلفیقی از فناوری‌های نوین همچون اینترنت اشیا و واقعیت مجازی صنعت متاورس به منظور طراحی و ساخت سیستم‌های هشدار سیلاب است.

مفهوم سیلاب و اهمیت پیش‌بینی آن در نواحی شهری و غیر شهری

سیلاب‌ها از مخرب‌ترین بلایای طبیعی در زمین هستند که هر ساله خسارت‌های بسیار زیادی به زیرساخت‌ها، جوامع طبیعی و انسانی وارد می‌کنند. افزایش فعالیت‌های انسانی و شهرنشینی، تغییر در اکولوژی طبیعی محیط، تغییرات اقلیمی و استفاده نادرست از منابع طبیعی، باعث افزایش شدت و فراوانی وقوع سیلاب در نواحی شهری شده است [۴]. زمانی که باران‌های سنگین و مداوم به داخل زمین نفوذ می‌کند، به اشباع زمین منجر می‌شود. در این وضعیت، سطح آب‌های زیرزمینی افزایش می‌یابد که باعث ایجاد سیلاب در سطح زمین می‌شود [۱۹]. هنگام سیلاب، آب به طور عمده مناطقی را که معمولاً توسط آب پوشیده نمی‌شوند، می‌پوشاند و در نتیجه، موجب از بین رفتن زمین‌های کشاورزی و زیرساخت‌های حیاتی می‌شود. سیلاب شهری به جابه‌جایی جمعیت‌های انسانی، اختلال در فعالیت‌های اقتصادی و در بدترین موارد، شیوع بیماری‌ها و مرگ‌ومیر منجر می‌شود [۸]. به وجود آمدن سیلاب در فضای شهری علاوه بر آسیب‌های معمول، باعث به وجود آمدن اختلالات گسترده اجتماعی، مرگ و میر و به هم خوردن نظم اجتماعی کشور می‌شود. همین موضوع اهمیت پیش‌بینی زمان و مکان سیلاب در فضای شهری را دوچندان می‌کند. یکی از ویژگی‌های مهم مدیریت حوضه‌های آبخیز، مدیریت سیل است. شدت زیان‌های اقتصادی مرتبط با سیل، نقش مدیریت سیلاب را برجسته می‌کند. تأثیرگذاری عوامل مختلف و وجود روابط غیرخطی بین آن‌ها، پیش‌بینی این پدیده را دشوار می‌کند [۹]. در گذشته، از روش‌های سنتی و مدل‌های هیدرولوژیکی برای پیش‌بینی سیلاب استفاده می‌شد. مدل‌سازی هیدرولوژیکی معمولاً در پیش‌بینی سیلاب‌ها کمتر مؤثر است، این امر در کشورهای مختلف درگیر با سیلاب که مدل‌های سنتی هیدرولوژیکی را پیاده‌سازی کرده‌اند، ثابت شده است. به منظور مقابله با ناکارآمدی مدل‌سازی هیدرولوژیکی در مدیریت ریسک سیلاب، نیاز به تحقیقات بیشتری در زمینه چگونگی استفاده از فناوری‌های جدید، نظیر یادگیری ماشین و اینترنت اشیا وجود دارد. فناوری‌های نوین می‌توانند در مدیریت بحران و کاهش تأثیرات برخی از انواع بلایای طبیعی، از جمله سیلاب، نقش مفیدی ایفا کنند [۱۰].

سامانه‌های هشدار سیلاب

مهم‌ترین دلیل اهمیت سامانه‌های هشدار سیلاب، آگاهی به‌موقع افراد از احتمال وقوع سیلاب در مکان‌هایی است که در معرض خطر وقوع این بلای طبیعی هستند. این اطلاعات می‌تواند برای پیش‌بینی احتمال وقوع، زمان وقوع و شدت سیلاب، استفاده شود. سازمان‌ها و افراد به وسیله سیستم‌های هشدار، از وقوع خطر مطلع می‌شوند تا خسارت‌های واردشده احتمالی به حداقل برسد. سیستم‌های هشدار سیلاب اجزای اصلی دارند تا به نحو احسن وظیفه خود را انجام دهند. سیستم‌های هشدار سیلاب شامل تجهیزات، افراد و رویه‌هایی برای شناسایی سیلاب‌های در حال وقوع و انتشار هشدار به عوامل مربوطه است. پس از انتشار هشدار، یک برنامه یکپارچه باید قبل و هنگام وقوع سیلاب اجرا شود تا خطرات احتمالی دفع شود [۲۰].

سیستم سامانه‌های هشدار سیلاب از زیرسیستم‌هایی تشکیل شدند تا عملکرد مؤثری از خود نشان دهند. زیرسیستم شناسایی و پیش‌بینی وقوع سیل وظیفه بررسی ابعاد، زمان وقوع، حجم سیل، دبی حداکثر، نحوه مدیریت مخازن، تعیین مناطق سیل‌گیر و ناحیه‌بندی از نظر نوع خطر سیلاب را انجام می‌دهد. زیرسیستم هشدار، انتشار پیام‌ها را در هر منطقه عهده‌دار است. زیرسیستم

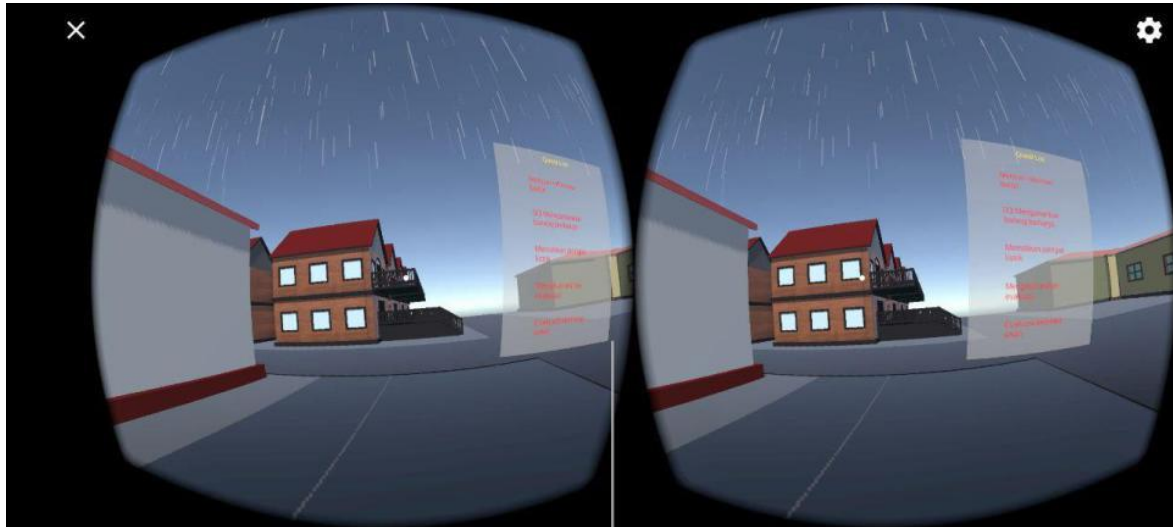
واکنش اضطراری، تخلیه موقت مناطق سیل گیر قبل از وقوع سیل، پایش و بهره‌برداری از سازه‌های کنترل سیل و سازماندهی مراکز کمک‌رسانی را عملی می‌کند. زیرسیستم بازیافت پس از اتمام سیلاب، وظیفه جست‌وجو و نجات سیل‌زدگان، بازگرداندن مناطق تخلیه‌شده، برگرداندن سرویس‌ها و ارزیابی خسارت‌ها را به عهده دارد. زیرسیستم مدیریت، پیوسته باعث ارائه برنامه‌های آموزشی برای بالا بردن سطح آگاهی مردم، نگهداری و تعویض تجهیزات، برگزاری تمرین‌ها و مانورها برای شبیه‌سازی بحران می‌شود [۲۱].

متاورس و نقش آن در مدیریت سیلاب

نتایج بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد اغلب ساکنان مناطق سیل‌خیز از قدرت تخریبی سیلاب مطلع نیستند و به نوعی آن را دست‌کم می‌گیرند؛ به همین علت اغلب توجهی به عواقب آن ندارند [۱۹]. متاورس در حال انقلاب در دنیای اینترنت است. این جهان مجازی جدید قادر است فراتر از شکل سه‌بعدی، دنیای فیزیکی و دیجیتال را ترکیب کند. متاورس، که تا مدت‌ها یک مفهوم انتزاعی بود، اکنون اهمیت زیادی پیدا کرده و توجه مصرف‌کنندگان، سرمایه‌گذاران، برندها و بازیگران بزرگ جهانی را به خود جلب کرده است [۲۲]. متاورس تصور تمام افراد را در مورد چیزهایی که طی سالیان می‌شناسیم را عوض خواهد کرد؛ از چگونگی ارتباط برقرار کردن تا کسب درآمد تا سرگرمی و ... اما شایان یادآوری است که متاورس یک ابزار نیست و فقط مکانی برای متصل کردن ابزارهای مختلف به یکدیگر برای انجام کارهای مختلف است. به عنوان یک تعریف جامع، متاورس تجربیات سه‌بعدی را بر اساس فناوری واقعیت مجازی و واقعیت افزوده ارائه می‌دهد. به نظر می‌رسد که این فضا یک فضای سه‌بعدی مجازی در رسانه‌ها است [۲۳].

واقعیت مجازی (VR)

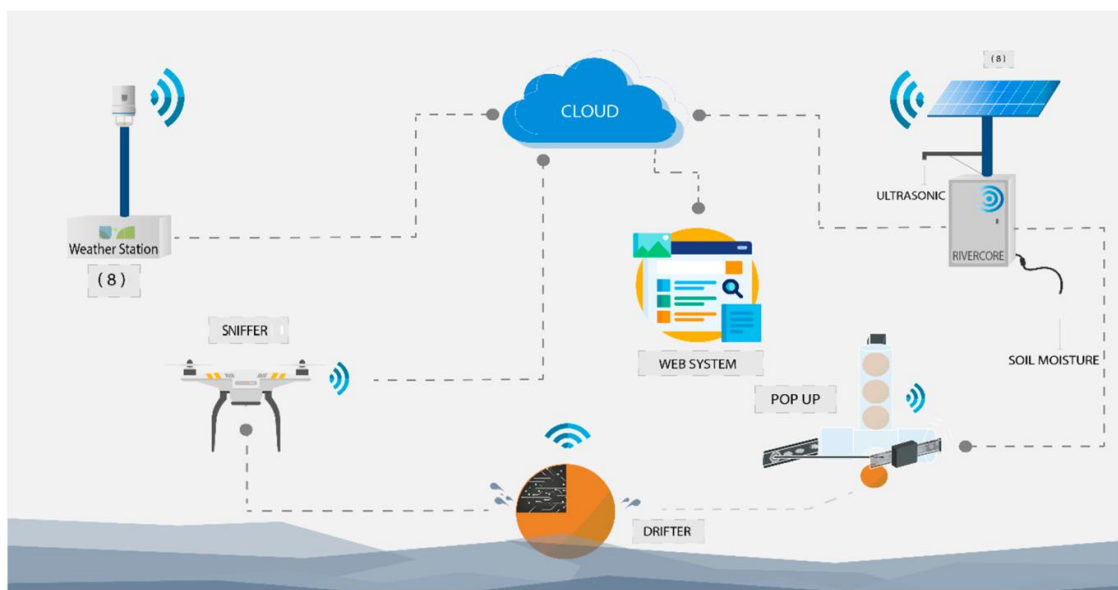
فناوری واقعیت مجازی، یک محیط کاملاً دیجیتال است که دنیای مجازی ساخته‌شده در موازات دنیای فیزیکی را به وسیله ابزارهای خاص به کاربران نشان می‌دهد تا آن‌ها را به طور کامل غرق در فضا شده و از اشیای مجازی موجود در این فضا استفاده کنند. این امر به وسیله رعایت یکسری از الزامات محیط‌های مجازی مانند داشتن حس مشترک از فضا، حس مشترک حضور هم‌زمان، استفاده از ابزارهای مختلف مجازی برای برقراری ارتباط و همچنین، تغییر در اشیای مجازی اطراف صورت می‌گیرد [۱۶]. واقعیت مجازی، فناوری نوین و به‌روزی است که به عنوان ابزاری مهم در تحقق اهدافی همچون طراحی، مهندسی، بازمینی طرح، بازرسی، آموزش افراد و ... شناخته شده است. علاوه بر این، مدل‌سازی در واقعیت مجازی آسان‌تر، طبیعی‌تر و شهودی‌تر از نرم‌افزارهای طراحی دستی و سنتی است [۲۴]. از واقعیت مجازی در عینیت‌بخشی به پدیده‌های مختلف استفاده می‌شود. عینیت‌بخشی پدیده‌های طبیعی به افراد حاضر در این مناطق کمک می‌کند تا آمادگی خود را هنگام مواجهه با بلایای طبیعی بالا ببرند و غافلگیر نشوند [۲]. کاربرد واقعیت مجازی در صنایع مختلف در حال پیشرفت روزافزون است. برای مثال، میرس و همکاران از واقعیت مجازی برای نمایش وضعیت آب‌وهوا در پیش‌بینی‌های ماهواره‌ای آب‌وهوایی استفاده کردند. اوربس و همکاران از این فناوری برای نمایش نتایج مهندسی خود بهره گرفتند. در این پژوهش، کاربرد فناوری واقعیت مجازی در نشان دادن عینی نتایج در مهندسی مکانیک انجام شد، به طوری که در دو مطالعه موازی برای مقایسه نتایج، یک گروه به صورت دستی و در نرم‌افزار CAD^۱ مدل‌سازی خود را انجام داده و گروه دوم با استفاده از واقعیت مجازی مدل‌سازی را انجام دادند. نتایج به‌دست‌آمده، سرعت بیشتر و سهولت کار فناوری واقعیت مجازی را به‌وضوح نشان داد اگرچه معایبی هم داشت. برای مثال، کمبود دقت آن به نسبت مدل دستی دسکتاپ و یا عدم توانایی برای بازگشت در مراحل مدل‌سازی، اصلاح خطاهای اندازه‌گیری و ...، این مشکلات هم به دلیل نو بودن این فناوری قابل حل و تصحیح است. نتیجه مهم این مطالعه، توانایی تبدیل مدل‌ها به اجسام سه‌بعدی و جامد بود که موفقیت‌آمیز انجام شد [۲۴]. در مواجهه با بلاهای طبیعی، اوی و همکاران یک سیستم با استفاده از واقعیت مجازی در جهت تمرین در برابر آتش‌سوزی طراحی کردند که به‌خوبی محیط مجازی را طراحی و افراد را در یک تجربه واقع‌گرایانه قرار می‌داد [۲۷]. همچنین، سرمت و دمیر یک بازی چهارنفره طراحی کردند تا افراد را از خطرات سیلاب و مواجهه با این بلای طبیعی آگاه سازد [۲۸].



شکل ۱. تصویر ساخته‌شده در محیط واقعیت مجازی [۲]

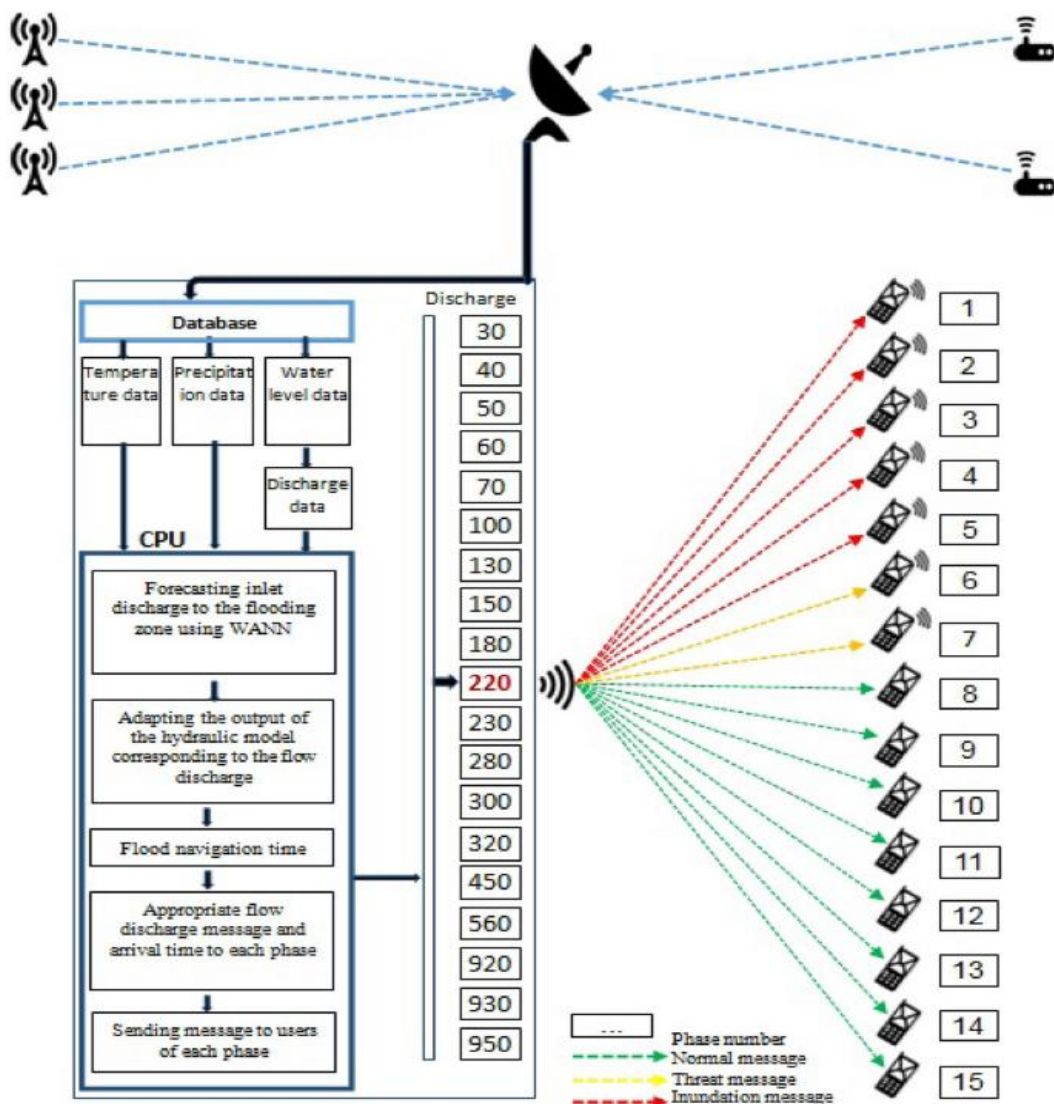
اینترنت اشیا (Internet Of Things)

از آنجا که سیستم‌های اینترنت اشیا تبادل داده‌های بیشتری نسبت به تبادلات بین کاربران و دستگاه‌ها دارند، حجم بالایی از داده‌ها تولید می‌شود. با اشتراک‌گذاری داده‌های اینترنت اشیا در محیط ابری، تحلیل زیاد داده به حمایت از تصمیمات آینده کمک می‌کند. حجم زیاد داده‌ها و اشتراک‌گذاری داده‌های مختلف باعث افزایش دقت پیش‌بینی‌ها در شرایط مشابه می‌شود. در عین حال، حجم زیاد داده، مدیریت داده‌ها و ارائه خدمات را به یک نگرانی تبدیل می‌کند، زیرا هر سیستم اینترنت اشیا، ساختار داده‌ای، نرخ داده و الزامات عملکرد خاص خود را دارد که ناشی از منابع داده متنوع است. به اشتراک‌گذاری داده‌ها نیز به دلیل استانداردها و تنظیمات مختلف نگرانی‌هایی را به همراه دارد و این امر اشتراک‌گذاری با سایر دستگاه‌ها و سازمان‌ها را دشوار می‌سازد. مقیاس‌پذیری و دقت نیز از دیگر نگرانی‌ها در مورد دستگاه‌های وابسته به اینترنت اشیا هستند، زیرا اتصال به فضای اشتراکی می‌تواند هزینه‌های زیادی برای پردازش داده‌ها به همراه داشته باشد [۲۹].



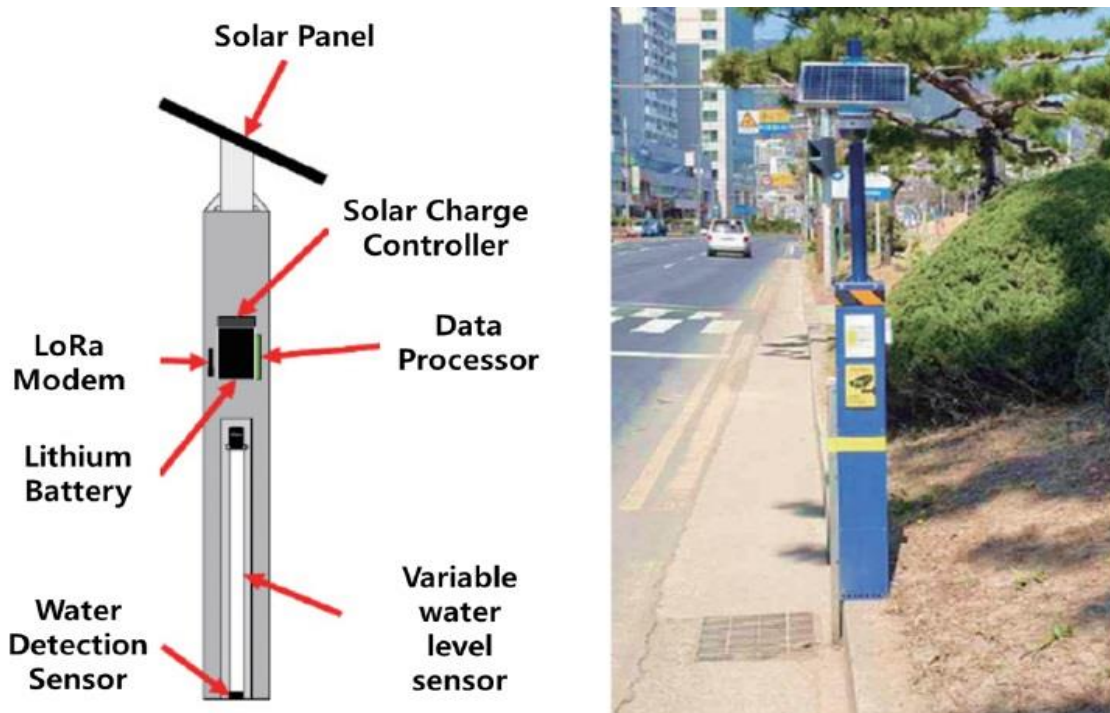
شکل ۲. داده‌های انتقال یافته به فضای ابری بستر اینترنت اشیا [۳۰]

همان‌طور که در شکل ۲ مشخص شده است، دستگاه‌ها و فناوری‌های متصل به اینترنت اشیا می‌توانند داده‌های کلان را در زمان واقعی نظارت و اندازه‌گیری کنند و اطلاعات مربوط به داده‌ها و ارزیابی‌ها را به یک محیط ابری مشترک بین دستگاه‌های دیگر که با استفاده از اینترنت اشیا به هم متصل‌اند، منتقل شود. این داده‌ها بینش‌های ارزشمندی را برای شبیه‌سازی رخدادهای سیلابی در سیستم‌های زهکشی بزرگ ارائه می‌دهند. حدود ۸۰ درصد از داده‌های کلان، داده‌های مبتنی بر تصویر هستند [۱۸] که می‌توانند از طریق حسگرهای اینترنت اشیا و دستگاه‌های تجاری مانند دوربین‌های رودخانه‌ای، دستگاه‌های نظارت ترافیک حمل‌ونقل و سیستم‌های ردیابی آب‌وهوا جمع‌آوری شوند. سپس، این داده‌ها می‌توانند منتقل، ذخیره و در هر زمان بازبینی شوند. حجم بالای داده‌هایی که حسگرها و دستگاه‌های اینترنت اشیا تولید می‌کنند باید قبل از اینکه اطلاعات در مطالعات مرتبط با سیلاب مورد استفاده قرار گیرد، پردازش شود. با این‌حال، از آنجا که این داده‌ها اغلب به فرمت‌های مختلف وارد می‌شوند، کاربران باید قبل از پردازش یا به‌کارگیری هر نوع تحلیلی روی داده‌ها، چندین مرحله را طی کنند. داده‌ها باید استانداردسازی یا به یک فرمت یکنواخت تبدیل شوند؛ به طوری که این فرمت با مدل‌های پیش‌بینی سیلاب سازگار باشد. سپس فرمت جدید تبدیل‌شده ذخیره شود. هر گونه داده تکراری، قدیمی یا نامطلوب فیلتر شود تا دقت پیش‌بینی افزایش پیدا کند. داده‌های اضافی از منابع دیگر ادغام شود تا مجموعه داده‌های مرتبط با سیلاب غنی‌تر شود [۱۴].



شکل ۳. نحوه عملکرد سامانه‌های هشدار سیلاب در بستر اینترنت اشیا [۳۱]

وقوع سیلاب شهری در مقایسه با سیلاب طبیعی تفاوت‌های زیادی دارد و اغلب حاصل از بارش‌های بسیار سنگین و ناگهانی است. از این نظر، مدل‌سازی‌های معمول در بسیاری از اوقات با مشکل مواجه می‌شود. از یک طرف، سرعت تغییر اوضاع و تبدیل بارش در حوضه‌های آبخیز شهری بسیار بیشتر از حوضه‌های طبیعی است و از طرفی، به دلیل کمبود داده‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی و پیش‌بینی‌ها، توصیه می‌شود که برای جلوگیری از وقوع سیلاب‌های شهری از سیستم‌های هشدار مستقیم سیلاب استفاده شود. با توجه به شکل ۳، سیستم‌های هشداردهنده به وسیله حسگرهای تماسی و غیرتماسی، داده‌های محیطی مانند دما، بارندگی، ارتفاع آب و ... را از زیر زمین یا در فضای آزاد دریافت کرده و به فضای ابری منتقل می‌کنند. داده‌هایی که از سنسورهای مختلف در فضای ابری جمع‌آوری شدند، به قسمت تجزیه و تحلیل منتقل می‌شوند و به وسیله پردازش‌های انجام‌شده، میزان تخلیه آب در حوزه، زمان رسیدن جریان و مقدار مجاز تخلیه جریان را پیش‌بینی می‌کند و تشخیص سیلاب انجام می‌گیرد؛ سپس اطلاعات جمع‌آوری شده به مناطق مورد مطالعه فرستاده می‌شود تا با توجه به محاسبات انجام‌شده و میزان خطر، اقدامات لازم را برای کنترل سیلاب انجام دهند. در پژوهش جانگ، از طراحی یک سامانه نظارتی و هشداردهنده بسیار دقیق در بستر فناوری اینترنت اشیا و توسعه آن رونمایی شد. فناوری پیشنهادی به گونه‌ای طراحی شده است که تنها انرژی جریان خالص را شناسایی کند و عوامل منطقه مورد بررسی را نظیر انسان‌ها، خودروها، حیوانات و گیاهان را به طور مؤثری فیلتر کرده تا دقت محاسبه افزایش پیدا کند؛ این مسئله در جریان‌های بومی شهری، نواحی پایین‌دست، زیرگذرها و تأسیسات زیرزمینی با محیط‌های پیچیده اهمیت بسیاری دارد. این فناوری به عنوان یک پلتفرم اینترنت اشیا توسعه یافته است تا نصب و بهره‌برداری از آن را تسهیل کند. در پژوهش یادشده، برای نمایش نتایج به‌دست‌آمده از سامانه نظارتی و هشداردهنده، از مدل مجازی دوقلوی دیجیتال^۱ بهره برده شده است تا وظیفه عینیت‌بخشی را انجام دهد [۳۲].



شکل ۴. اجزای تشکیل‌دهنده سامانه‌های هشدار سیلاب [۳۲]

سیستم‌های هشداردهنده سیل مبتنی بر اینترنت اشیا، از چندین لایه به منظور دریافت و انتقال اطلاعات ساخته می‌شود. لایه حسگری، با استفاده از حسگرهای بسیار حساس، داده‌های محیطی را دریافت می‌کند. سپس، با استفاده از شبکه‌های بی‌سیم و اینترنت اشیا، حجم عظیمی از داده‌ها به محیط ابری منتقل می‌شود. پس از ورود اطلاعات به محیط ابری، با استفاده از

الگوریتم‌های پیشرفته هوش مصنوعی، اطلاعات وارد شده تجزیه و تحلیل شده و ویژگی‌های نظری انرژی جریان آب شناسایی و استخراج می‌شود [۳۲].

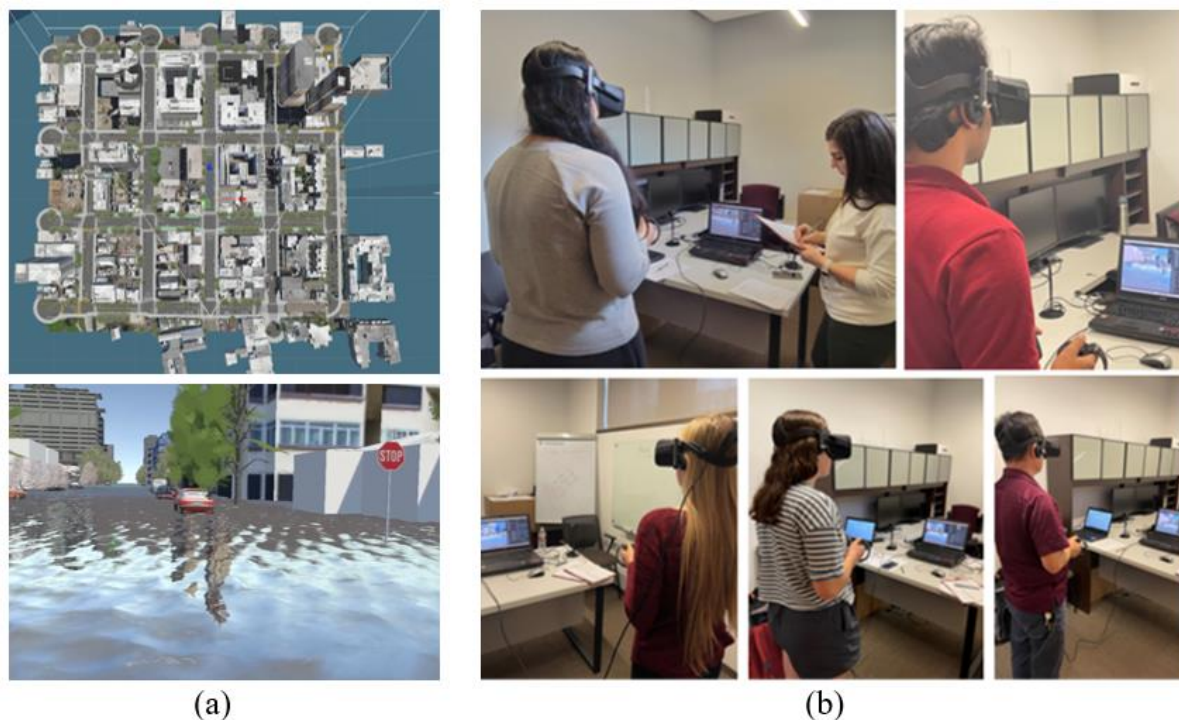
سیستم‌های هشدار سیلاب با استفاده از اینترنت اشیا، توانایی انتقال حجم عظیمی از اطلاعات را در زمان کوتاهی بین سیستم‌های مختلف دارند و با تجزیه و تحلیل سریع توسط الگوریتم‌های فراکاوشی هوش مصنوعی، عملیات پردازش را انجام می‌دهند. در صورت امکان وقوع سیلاب به دست‌اندرکاران هشدار لازم را می‌دهند. از سامانه‌های واقعیت مجازی می‌توان برای نشان دادن نتایج مدل‌سازی به کاربران و افراد استفاده کرد. تهیه جریان‌هایی که به راحتی انتقال پیدا کرده و رابط اینترنت اشیا و واقعیت مجازی هستند، برای انتقال صحیح داده‌ها و تدقیق مدل‌سازی‌ها، امری ضروری است [۱۶].

ورود واقعیت مجازی در سامانه‌های هشدار

برای سنجش کارایی هشدار، یکی از عوامل مهم، تطابق رفتاری است؛ به این معنا که افراد متوجه شوند که آیا دستورات موجود در پیام هشدار دنبال می‌شود یا خیر. تحلیل رفتاری یکی از موضوعات سخت در سامانه‌های هشدار است، زیرا نمی‌توان افراد را به طور واقعی در آن موقعیت‌های پرخطر قرار داد. همچنین، با توزیع پرسشنامه و توصیف فضای پرخطر، نمی‌توان درک درستی به افراد منتقل کرد تا پاسخ مناسب را هنگام خطر برگزینند. در نتیجه، فناوری‌های نوظهور مانند واقعیت مجازی باعث سهولت در طراحی سامانه‌های هشدار می‌شوند [۳۳]. واقعیت مجازی در پژوهش‌های مربوط به حوادث طبیعی، کاربردهای بسیار زیادی دارد. در پژوهش اسچیاوینی و همکاران به چگونگی کاربرد واقعیت مجازی در سیستم‌های هشدار اشاره شده است. برای ورود به فضای واقعیت مجازی از ابزارهای مخصوص واقعیت مجازی نظیر کنترلرهای مخصوص، هدست و حسگرهای حسی استفاده می‌شود. برای عینیت بخشی و القای احساس واقعی به افراد شرکت‌کننده، یک محیط مجازی بسیار شبیه به محیط اصلی طراحی شده و با قرار دادن افراد در وضعیت هشدار و پرخطر، واکنش‌های آن‌ها را ارزیابی کرده؛ با تکرار آزمایش، قدرت تصمیم‌گیری افراد تقویت شده، از تجربیات به دست‌آمده برای آموزش افراد دیگر استفاده می‌کند و همچنین باعث ارتقای محیط مجازی می‌شود [۱۷]. در پژوهش گامبرینی و همکاران، اثرات روان‌شناختی حاصل از پدیده‌های مخرب طبیعی را روی افرادی که به طور مستقیم با این پدیده‌ها مواجه هستند، بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد ساختن محیط مصنوعی در فضای واقعیت مجازی، قادر به تولید سناریوهای مجازی مناسب پدیده‌های طبیعی است. همچنین، این پژوهش توانست نیازهای طراحی مرتبط را برجسته و طبقه‌بندی کرده و استراتژی‌هایی را پیدا کند که می‌توانند کیفیت زندگی و رفاه روانی «شهروندان در معرض خطر» را بهبود بخشند [۳۴].

واقعیت مجازی در مواجهه با سیلاب

در مواجهه با سیلاب، استفاده مؤثری از واقعیت مجازی به عمل آمده است. در پژوهش علیزاده و همکاران تأثیرات آمادگی ذهنی افراد به منظور مواجهه با سیلاب شهری و توانایی افراد در تخمین عمق آب جهت تصمیم‌گیری درست در شرایط بحرانی، مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش نشان داد اکثر افراد به اشتباه ماشین‌ها را به عنوان مرجع تخمین عمق آب قرار می‌دهند که شاخص مطمئنی نیست، زیرا ماشین‌ها به راحتی به صورت معلق روی آب درمی‌آیند. در نتیجه محققان در صدد یافتن مرجعی مناسب برای حل این مشکل درآمده تا راه حل بهتری برای تخمین عمق آب انتخاب کنند [۳۵]. همچنین، پانگابین در قالب بازی کامپیوتری، فضایی را در مواجهه با سیلاب طراحی کرد تا به کمک فضای مجازی، افراد تجربه‌ای نزدیک به تجربه واقعی را در مواجهه با سیلاب داشته باشند [۲].



شکل ۵. تجربه مواجهه با سیلاب در فضای شبیه‌سازی شده واقعیت مجازی [۳۵]

نتایج و بحث

ارائه چارچوب تلفیقی اینترنت اشیا و واقعیت مجازی

از فناوری‌های نوظهور و پیشرفته اینترنت اشیا و واقعیت مجازی در بسیاری از صنایع مختلف در عرصه‌های گوناگون استفاده شده است. از اینترنت اشیا و فضای متاورسی واقعیت مجازی، می‌توان برای عینیت‌بخشی به پروژه‌های علوم طبیعی مانند علوم آب و تشخیص پدیده‌های طبیعی مختلف بهره برد و باعث ارتقای بیشتر سطح مدل‌سازی‌ها و پیش‌بینی‌های مخصوص این‌گونه پدیده‌ها شد.

در این پژوهش، ترکیب فناوری‌های نوظهور اینترنت اشیا و واقعیت مجازی در طراحی و ساخت سامانه‌های هشدار سیلاب شهری بررسی شد. تحقیق یادشده برای نیاز فوری کشور به راهکارهای پیشرفته و دقیق‌تر در مدیریت بحران سیلاب در مناطق شهری انجام شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد استفاده تلفیقی از فناوری اینترنت اشیا و واقعیت مجازی، نه تنها باعث بهبود دقت پیش‌بینی و کاهش زمان واکنش در برابر سیلاب می‌شود، بلکه به بهبود عملکرد سامانه‌های هشداردهنده سیلاب از طریق یکپارچه‌سازی داده‌ها و شبیه‌سازی‌های مجازی کمک می‌کند. برای راهبرد تلفیقی بین اینترنت اشیا و واقعیت مجازی برای ساخت سیستم‌های هشداردهنده سیلاب، نیاز به ابزارهای تخصصی مختلفی است. سیستم‌های پیش‌بینی‌کننده و هشداردهنده سیلاب از چندین بخش تشکیل شده است. ابتدا اینترنت اشیا با ساختن بستری برای جمع‌آوری داده‌های دقیق و به‌روزرسانی داده‌ها در زمان واقعی، امکان مدیریت بهتر بحران را فراهم می‌کند که این بستر، فضای ابری نامیده می‌شود. سپس سنسورهای حساس روی سطح زمین اطلاعات محیطی نظیر رطوبت هوا، مقدار بارش، انرژی خورشید و... را از فضای آزاد دریافت می‌کنند و سنسورهایی که در زیر زمین وجود دارند، داده‌های مربوط به آب‌های زیرزمینی و تغییر سطوح و انرژی آب در سفره‌ها را دریافت کرده و به فضای ابری منتقل می‌کنند. پس از جمع‌آوری داده‌های کلان در فضای ابری، این داده‌ها جهت پردازش به قسمت تجزیه و تحلیل انتقال داده می‌شوند. در این بخش سیستم‌های فراکوشی هوش مصنوعی برای تجزیه و تحلیل اطلاعات و داده‌ها، با توجه به شرایط محل مورد مطالعه به کار گرفته می‌شوند تا با دقت بسیار زیاد احتمال وقوع سیلاب را تشخیص دهند و با هشدار به موقع، امکان وقوع حادثه را به حداقل برسانند. تجزیه و تحلیل داده‌های کلان به وسیله الگوریتم‌های پیشرفته هوش

مصنوعی، علاوه بر اینکه توانایی پیش‌بینی دقیق‌تری نسبت به مدل‌های سنتی را دارند، بلکه می‌توانند زمان هشدار و اقدامات پیشگیرانه را به حداقل برسانند که این امر به‌ویژه در زمینه مدیریت و کنترل وضعیت‌های بحرانی ناشی از بلایای طبیعی، امری ضروری است. پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها و انجام مدل‌سازی‌ها به منظور اطلاع از وقوع سیلاب، نتایج به‌دست‌آمده، مطالعه و با توجه به ضرورت مشخص شده، اقدامات لازم به منظور کنترل و کاهش خسارت‌های ناشی از پدیده‌های حدی اقلیمی، انجام می‌گیرد. یکی از دستاوردهای کلیدی این تحقیق، امکان ایجاد سامانه‌های هشدار سیلاب یکپارچه است که از ترکیب فناوری‌های اینترنت اشیا و واقعیت مجازی بهره می‌برد. با استفاده از فضای متاورسی واقعیت مجازی، می‌توان نتایج مدل‌سازی شده را با استفاده از ابزار مخصوص به تصویر کشید تا به صورت عینی برای افراد قابل لمس باشد. نتایج به‌دست‌آمده از محیط مورد مطالعه را می‌توان در محیط ابری به اشتراک گذاشت تا در سراسر جهان، محققان توانایی تحقیق روی مناطق مختلف را پیدا کرده و از تجارب یکدیگر استفاده کنند. این امر محدودیت زمانی و مکانی را از بین می‌برد و به کشورهایی که قادر به ساخت و استفاده از سامانه‌های هوشمند سیلاب نیستند، کمک می‌کند تا در یک فضای عینی قابل لمس از تحقیقات سایرین مطلع شوند و در صورت امکان روی مناطق تحت خطر، از این مطالعات بهره ببرند. از تلفیق فناوری‌های اینترنت اشیا و واقعیت مجازی، به دو شکل می‌توان باعث ارتقای سطح سامانه‌های هشداردهنده سیلاب هنگام مواجهه با بلایای طبیعی شد. واقعیت مجازی به عنوان یک ابزار تعاملی و آموزشی با نمایش دادن عینی شرایط سیلاب، باعث درک بهتر افراد از وضعیت بحرانی و در نتیجه افزایش آمادگی آن‌ها در مواجهه با سیلاب می‌شود و در جهت آموزش نیروهای امدادی بسیار کاربردی است. همچنین، می‌توان در یک محیط مجازی و به صورت نامحدود اقدام به سناریوسازی کرد و تغییرات داده‌های محیطی در شرایط مختلف را برای سیلاب ترسیم کرد و برای هر سناریو، توسط دست‌اندرکاران و محققان راهکارهای مخصوص از قبل مشخص کرد. این امر کمک می‌کند تا هنگام وقوع سیلاب، برای هر سناریوی احتمالی آماده باشند. با پیش‌بینی صحیح و به‌موقع، خسارت‌های حاصل از سیلاب به حداقل می‌رسد و همچنین، از به هم خوردن نظم عمومی ناحیه شهری و حتی کل کشور و زندگی شهروندان جلوگیری می‌شود. برای استفاده از واقعیت مجازی در سامانه‌های هشدار سیلاب، ابتدا باید سامانه هشدار سیلاب مختص به آن منطقه طراحی و نصب شود تا با استفاده از بستر اینترنت اشیا، داده‌های مورد نیاز جمع‌آوری شوند و سپس، با طراحی یک محیط مجازی شبیه به محیطی که امکان سیل در آن منطقه وجود دارد، اقدام به ساخت سناریوهای مختلف با استفاده از داده‌های دریافتی کرد.

همان‌طور که در این تحقیق به ابعاد مثبت فناوری‌های نوین به منظور مدیریت سیلاب اشاره شد و به رغم پیشرفت‌های قابل توجه در حوزه هوشمندسازی سامانه‌های هشدار سیلاب، چالش‌های مهمی نظیر هزینه‌های بالای نصب و نگهداری سیستم‌های مبتنی بر اینترنت اشیا، نیاز به استانداردهای داده‌ها و برطرف شدن محدودیت‌های فناوری واقعیت مجازی وجود دارد. این عوامل نشان‌دهنده چندوجهی بودن مدیریت و کنترل در بحث مسائل و بلایای طبیعی است. مشکلات یادشده، اصلی‌ترین دلایل عدم پیاده‌سازی گسترده این سیستم‌ها در مناطق شهری هستند. در نتیجه، لازم است که در کنار طراحی و توسعه فناوری‌های هوشمند، سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران به آموزش و توانمندسازی نیروی انسانی و همچنین، تأمین منابع کافی برای نگهداری و به‌روزرسانی سیستم‌های هوشمند توجه ویژه‌ای داشته باشند. برای رسیدن به موفقیت کامل در زمینه مدیریت و کنترل بلایای طبیعی، نیاز است که محققان، سیاست‌گذاران، تصمیم‌گیرندگان و متخصصان فناوری اطلاعات، مدیریت مشارکتی را مد نظر قرار دهند و برای بهبود وضعیت کشور، با یکدیگر همکاری کنند. برای محقق شدن این امر، ایجاد زیرساخت‌های لازم، توسعه استانداردهای جهانی و آموزش مستمر برای بهره‌برداری مفید از فناوری‌های هوشمند، ضروری به نظر می‌رسد.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد استفاده تلفیقی از اینترنت اشیا و واقعیت مجازی در طراحی سامانه‌های هشدار سیلاب، گامی مؤثر به منظور کاهش خسارت‌های ناشی از سیلاب در مناطق شهری است. این سامانه‌ها می‌توانند با ارائه هشدارهای به‌موقع و دقیق، آمادگی و پاسخ‌گویی جوامع را در برابر سیلاب تقویت کنند و از این طریق، علاوه بر کاهش خسارت‌های جانی و مالی، به بهبود کیفیت زندگی شهری و توسعه پایدار کمک کنند.

نتیجه‌گیری

نتیجه پژوهش به‌وضوح نشان داد تلفیق فناوری‌های اینترنت اشیا و واقعیت مجازی می‌تواند یک مدل نوآورانه و کارآمد برای

طراحی سامانه‌های هشدار سیلاب شهری ایجاد کند و علاوه بر اینکه باعث کاهش زمان پاسخ‌گویی و پیش‌بینی سیلاب می‌شود، بلکه به ارتقای آگاهی عمومی و آمادگی برای مقابله با سیلاب نیز کمک می‌کند. از اینترنت اشیا می‌توان به منظور دریافت، ارزیابی و تحلیل داده‌های کلان دریافتی از حسگرهای مخصوص محیطی بهره برد. موضوع عینیت‌بخشی توسط فناوری واقعیت مجازی، برای آموزش شهروندان و افراد مختلف مانند نیروهای امدادی برای حفظ آرامش و توانایی کنترل وضعیت موجود از این فضا، مفید است، لذا باعث آمادگی تصمیم‌گیران برای سناریوهای مختلف و جلوگیری از وقوع اتفاقات ناگوار و غیر مترقبه می‌شود و از غافلگیری جلوگیری می‌کند. با آمادگی قبلی تصمیم‌گیران و اتخاذ تمهیدات لازم، خسارت‌های ناشی از پدیده‌های مخرب اقلیمی کاهش می‌یابد و زندگی شهروندان به حالت عادی برمی‌گردد و همچنین، در میزان سرمایه‌گذاری از دست‌رفته و هزینه‌ها صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای به عمل می‌آید. از این‌رو، استفاده از واقعیت مجازی و اینترنت اشیا در طراحی سامانه‌های هشدار سیلاب از بُعد مسائل اجتماعی و هم از منظر اقتصادی مزایای بسیار زیادی دارد. به طور کلی، استفاده از سیستم‌های هوشمند برای مدیریت پدیده‌های طبیعی، امری ضروری است که باعث تبدیل مشاهدات ثبتي به فناوری‌های مدرن در مناطق حادثه‌خیز خواهد شد.

منابع

1. Ahamed, J, Mou ,S , Chowdhury, T , Mannan, A , Mim, S , Tarannum, L and Noman ,T. AI-Driven Water Segmentation with deep learning models for Enhanced Flood Monitoring. 2024.
2. Panggabean , F. Enhancing Flood Disaster Preparedness Through Virtual Reality: A VR-based Flood Simulator Game. Jurnal EMACS. 2023.Vol5.No2.69-72. DOI: 10.21512/emacsjournal.v5i2.9988.
3. Aalami, M , Ardestani,M, Malekmohamadi,B. Flood Potential Modeling in Zarineh Rood Watershed Using Artificial Intelligence Models. Watershed Management Research. 2023. ISSN: 2981-2038. (Persian).
4. Merz ,H , Kreibich, H , Schwarze,R and Thielen. A. Assessment of economic flood damage. Natural Hazards and Earth System Sciences. 2010. 1697-1724. doi:10.5194/nhess-10-697-2010.
5. Ansari Ghoghhar, M, Pourmohammad, P. Assessment the impacts of Metaverse industry on flood modeling visualization. Journal of the Nivar. 2024.Vol. 48, No. 126-127. (Persian).
6. Buttinger-Kreuzhuber ,A , Konev, A , Horvath, Z , Cornel ,D , Schwerdorf , i , Bloschl ,G and Waser, J. An integrated GPU-accelerated modeling framework for high-resolution simulations of rural and urban flash floods. Environmental.elsevier, Modelling and Software. 2022.105480. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105480> .
7. Wan Mohtar,M , Wan Hanna, M , Jazuri, A , Khairul ,N , Abdul Maulud and Nur Shazwani ,M. Urban flash flood index based on historical rainfall events. Elsevier, Sustainable Cities and Society. 2020.Volume 56. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102088>.
8. Nkwunonwo, U.C , Whitworth,M and Baily, B. A review of the current status of flood modelling for urban flood risk management in the developing countries. elsevier, Scientific African. 2020. 2468-2276. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00269>.
9. Ebrahimi heravi,B , Rangzan, K and Kabolizadeh, M. Comparing Methods of Artificial Neural Network and Fuzzy System in Determining Pre-flooding Warning (Case Study: Zard River Sub-basin- Khuzestan Province). Geography and Environmental Planning. 2016. 28-65-1. (Persian).
10. Aljohani, F , Abi Sen, A , Ramadan ,M , Alzahrani, B and Bahbouh, N. A Smart Framework for Managing Natural Disasters Based on the IoT and ML. Applied Science. 2023.13,3888 <https://doi.org/10.3390/app13063888>.
11. Amirebrahimi, S , Rajabifard, A , Mendis, P and Ngo, T. A framework for a microscale flood damage assessment and visualization for a building using BIM-GIS integration. International Journal of Digital Earth. 2016. ISSN: 1753-8947 1753-8955. <https://doi.org/10.1080/17538947.2015.1034201>
12. Chang, Li , Chang, F , Yang, S , Kao, I , Ku, Y , Kuo, C and Mat Amin Ir, M. Building an Intelligent Hydroinformatics Integration Platform for Regional Flood Inundation Warning Systems. Water journal. 2019. 11,9. doi:10.3390/w11010009.
13. Hsieh, Sh , Chang, D , Yang, S , Wang, H and Yeh, K. Artificial Intelligence Methodologies Applied to Prompt Pluvial Flood Estimation and Prediction. Water journal. 2020.12, 3552. doi:10.3390/w12123552.
14. Samadi, S. The convergence of AI, IoT, and big data for advancing flood analytics research. Forntiers. 2022. DOI 10.3389/frwa.2022.786040.
15. Okeke Remigius ,O and Ehikhamenle, M. Design Analysis of an IoT based Early Flood Detection and Alerting System. International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS). 2024. Vol-11, Issue-2. Article DOI: <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.112.7>.
16. Mirzababaei, M and Pouresmaail, H. Metaverse, Challenges and requirements for development and deployment. Islamic Consultative Assembly Research Center. 2024. 310.19380 (Persian)
17. Schiavini ,R and Meurer ,H. USING VIRTUAL REALITY TO THE SAFETY WARNINGS DESIGN: THE EFFICIENCY THROUGH PRESENCE. Revista Conhecimento Online. 2021. a:13, Vol23:2,21-45.DOI: <https://doi.org/10.25112/rco.v2i0.2535>.
18. Donratanapat, N , Samadi, S , Vidal, M. J and Sadeghi Tabas,S. A national-scale big data prototype for real-time flood emergency response and management. Environ. Model. Softw. 2020. 133, 104828. doi: 10.1016/j.envsoft.2020.104828.

19. Binti Yahaya ,N and Binti Mat Zain,N. SIMULATING FLOOD DISASTER USING AUGMENTED REALITY APPLICATION. Progress In computing and Mathematics journal(PCMJ). 2024. Vol1.
20. U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE National Oceanic and Atmospheric Administration National Weather Service. Flood Warning Systems Manual. NOAA's National Weather Service. 2012.
21. Javaheri, N. Performance evaluation of the basin flood warning system in flood. National Committee of Large Dams of Iran. (Specialized committees for the operation, maintenance and rehabilitation of dams and dams for hydroelectric power plants). 2014. (Persian)
22. Petrillo, A , De Felice , F , De Luca, C and Di Chiara , S. Physical and digital worlds: implications and opportunities of the metaverse.Elsevier, Procedia Computer Science. 2023.217. 1744-1754.
23. Rafiei, M. Identification and Prioritization of Metaverse Infrastructure with a Fuzzy Approach. Metaverse & Virtual Transformation. The International Journal of Metaverse & Virtual Transformation (IJMVT). 2024. 1(1): 1-9.
24. Urbas, m , Cok ,V and Vlah ,D .VR as a 3D Modelling Tool in Engineering Design Applications. Applied Sciences. 2021. 11,7570. <https://doi.org/10.3390/app11167570>
25. Lim,D , Meyers,P , Quick,M , Rudlosky,S , Lee,E , Schwelling,E and Varshn,A. Weather Forecasting in Virtual Reality. NOAA/NESDIS/STAR . 2019.
26. Li ,M , Banerjee ,N and Banerjee, S. Using Motion Forecasting for Behavior-Based Virtual Reality (VR) Authentication. 2024. arXiv:2401.16649v1.
27. Ooi, S , Tanimoto, T and Sano, M. Virtual reality fire disaster training system for improving disaster awareness. In Proceedings of the 8th International Conference on Educational and Information Technology. 2019. pp. 301-307. <https://doi.org/10.1145/3318396.3318431>
28. Sermet, Y and Demir, I. Flood action VR: a virtual reality framework for disaster awareness and emergency response training. 2019. In ACM SIGGRAPH 2019 Posters, 27, pp. 1-2. <https://doi.org/10.1145/3306214.3338550>
29. Liang,H , Burgess,L ,Liao, W ,Blasch,E and Yu, W. Deep Learning Assist to IoT Eearch Engine for Disaster Damage Assesment. Cyber-Physical Systems. 2022.
30. Ibarreche,J , Aquino,R , Edwards,R.M , Rangel,V Perez,I and Martinez,M. Flash Flood Early Warning System in Colima Mexico. Sensors. 2020. 20(18), 5231.
31. Ghanbari,A , Tahmasebipour,N , Zeinivand,H , AliHeidari,M and Bdollahi,S. Flood Warning System Using Internet of Things, Artificial Intelligence and Hydraulic Modeling (Case study: Behesht-Abad Watershed, Iran). Springer, Acta Geophysika. 2023. Vol72, 2815-2829.
32. Jang, B and Jung ,I. Developoment of Hig-Precision Urban Flood-Monitoring Technology for Sustainable Smart Cities. Seonsors. 2023. <https://doi.org/10.3390/s23229167>.
33. Duarte, E , Rebelo ,F and Wogalter ,M. Virtual Reality and Its Potential for Evaluating Warning Compliance. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing. 2010. 20 (6) 526–537.
34. Gamberini,L , Batelli,A , Benvegna,G , Orso, V , Spagnolli, A and Ferri, M. Designing "Safer Water." A Virtual Reality Tool for the Safety and the Psychological Well-Being of Citizens Exposed to the Risk of Natural Disasters. Human-Media Interaction. 2021.Vol12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.674171>
35. Alizadeh , B and sakib, M. Immersive Virtual Reality to Measure Flood Risk Perception in Urban Environments. Confrence Paper. 2023.



Ranking of financing methods for electrification of urban bus fleets in the Iranian capital market

Seyed Mahdi Hosseini^{1*} | Seyed Farhan Moosavian²

1. Corresponding Author, PhD in Electrical Power Engineering, Science and Research Branch Islamic Azad University, Tehran, Iran, SATBA Manager of Budget. Email: mahdi.hosseini.ee1@gmail.com
2. PhD in Energy Systems Engineering, University of Tehran, Expert in Renewable Energy of SATBA. Email: famosavian@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 16 February 2025
Revised 19 March 2025
Accepted 14 April 2025
Published Online 22 June 2025

Keywords:
Public transportation,
electrification,
financing,
capital market,
lease-to-own,
air pollution,
traffic.

ABSTRACT

Air pollution and traffic in Tehran have become a major challenge in recent years. By examining the data published by the Tehran Municipality, part of this challenge can be seen in the reduction in the number of Tehran city buses and the slow pace of their electrification. In this study, referring to the lack of financial resources in the contractionary state of the Iranian economy, financing methods through the capital market have been introduced. To find the best financing option for the electrification of Tehran buses, these options have been evaluated using the TOPSIS tool. Decision matrix data has been collected through a questionnaire from 21 experts in the field of financing. Finally, considering the four criteria of financing cost, size and capacity to absorb resources, time horizon and ease of process, lease-to-own bonds were ranked first. Also, in order to create sustainability in the process of fleet modernization and development, it has been suggested that the Ministry of Oil use the capacity to issue savings certificates for the municipality to complete lease-to-own bonds.

Cite this article: Hosseini, M. & Moosavian, F. (2025). Ranking of financing methods for electrification of urban bus fleets in the Iranian capital market. *Urban Development Policy Making*, 2 (2), 247-262. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.510867.1015>



© Seyed Mahdi Hosseini, Seyed Farhan Moosavian
DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.510867.1015>

Introduction

Air pollution and traffic in Tehran have become a major challenge in recent years. By examining the data published by the Tehran Municipality, part of this challenge can be attributed to the reduction in the number of city buses in Tehran and the slow pace of their electrification. This study referred to the two crises of air pollution and traffic in Tehran and discussed the necessity of electrifying the bus fleet.

Methodology

To solve the problem of lack of financial resources in the current state of the Iranian economy, financing tools were introduced through the capital market. To select the best option, the financing tools were evaluated using the TOPSIS model. The decision matrix data was collected through a questionnaire from 21 experts in the field of financing. Finally, considering the four criteria of

financing cost, size and capacity to absorb resources, time horizon, and ease of process, lease-to-own bonds were ranked first.

Results

This tool collects funds from investors, procures electric buses and leases them to the Tehran Municipality; upon maturity, the buses become the property of the municipality upon full payment of the nominal value of the bonds. Also, for the sustainability of fleet renovation and development, it was proposed that the Ministry of Oil issue an energy saving certificate to the municipality and sell it on the market.

Conclusion

This study focuses solely on the urban bus fleet and does not consider other options such as metro, urban taxi, and internet taxi. Also, despite covering both equity and debt financing options, financing from international sources is not considered. Given the importance of reducing emissions and the energy transition process, the use of international capacities can also be considered. For future studies, it is suggested that the global literature on new financing tools be reviewed. It is also possible to examine the necessary incentives to facilitate the process of financing fleet electrification.



رتبه‌بندی روش‌های تأمین مالی برقی‌سازی ناوگان اتوبوس شهری در بازار سرمایه ایران

سید مهدی حسینی^{*۱} | سید فرحان موسویان^۲

۱. نویسندهٔ مسئول، دکترای مهندسی برق قدرت، دانشگاه علوم تحقیقات، مدیرکل بودجه، تسهیل سرمایه‌گذاری و تجهیز منابع مالی ساتبا. رایانامه:

mahdi.hoseini.ee1@gmail.com

۲. دکترای مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه تهران، کارشناس بازار برق ساتبا. رایانامه: famosavian@gmail.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰

کلیدواژه:

حمل‌ونقل عمومی،

برقی‌سازی،

تأمین مالی،

بازار سرمایه،

اجاره به شرط تملیک،

آلودگی هوا،

ترافیک.

آلودگی هوا و ترافیک تهران در سال‌های اخیر به یک چالش اساسی تبدیل شده است. با بررسی داده‌های منتشرشده توسط شهرداری تهران، بخشی از این چالش را می‌توان در کاهش تعداد اتوبوس‌های شهری تهران و نیز سرعت پایین برقی‌سازی آن‌ها دانست. در این مطالعه، با اشاره به کمبود منابع مالی در وضعیت انقباضی اقتصاد ایران، روش‌های تأمین مالی از طریق بازار سرمایه معرفی شده است. برای یافتن بهترین گزینهٔ تأمین مالی برقی‌سازی اتوبوس‌های تهران، این گزینه‌ها توسط ابزار TOPSIS مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. داده‌های ماتریس تصمیم از طریق پرسشنامه از ۲۱ نفر از خبرگان حوزهٔ تأمین مالی جمع‌آوری شده است. در نهایت، با در نظر گرفتن چهار معیار هزینهٔ تأمین مالی، اندازه و ظرفیت جذب منابع، افق زمانی و سهولت فرایند، اوراق اجاره به شرط تملیک در جایگاه اول قرار گرفت. همچنین، برای ایجاد پایداری در فرایند نوسازی و توسعهٔ ناوگان، استفاده از ظرفیت صدور گواهی صرفه‌جویی توسط وزارت نفت برای شهرداری در تکمیل اوراق اجاره به شرط تملیک پیشنهاد شده است.

استناد: حسینی، سید مهدی و موسویان، سید فرحان (۱۴۰۴). رتبه‌بندی روش‌های تأمین مالی برقی‌سازی ناوگان اتوبوس شهری در بازار سرمایه ایران. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۲ (۲) ۲۴۷-۲۶۲.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.510867.1015>

© سید مهدی حسینی، سید فرحان موسویان

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.510867.1015>



۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، تهران و سایر شهرهای بزرگ ایران با دو بحران به هم پیوسته دست‌وپنجه نرم کرده‌اند: تراکم ترافیک و آلودگی هوا که هر دو به سطوح هشداردهنده‌ای رسیده‌اند. طی این سال‌ها تهران همواره از آلوده‌ترین شهرهای جهان شناخته شده است. کارشناسان این چالش‌ها را به افزایش جمعیت تهران و وابستگی زیاد به خودروهای شخصی نسبت می‌دهند [۱ و ۲]. در واکنش به این موضوع، سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان شهری به طور فزاینده‌ای به این نتیجه رسیده‌اند که گسترش حمل‌ونقل عمومی ضرورتی برای کاهش تخریب محیط زیست و بهبود کیفیت زندگی است. با این حال، مسیر دستیابی به این هدف به‌خصوص در شرایط اقتصادی تحت فشار ایران دارای موانع مالی و نهادی ویژه‌ای است.

کاهش ناوگان اتوبوسرانی تهران طی سال‌های اخیر، این چالش‌ها را به وضوح نشان می‌دهد. طبق اطلاعات منتشرشده توسط شهرداری تهران، تعداد ناوگان اتوبوسرانی تهران نه تنها افزایش نیافته، بلکه از ۷۰۸۲ دستگاه اتوبوس در سال ۱۳۸۷ به ۶۲۶۲ دستگاه در سال ۱۳۹۵ و سپس ۲۷۸۴ دستگاه در سال ۱۴۰۱ رسیده است [۳]. این در حالی است که جمعیت تهران از ۸/۷ میلیون نفر در سال ۱۳۹۵ به بیش از ۱۴ میلیون نفر در سال ۱۴۰۳ رسیده است. این کاهش ۷۰ درصدی ظرفیت ناوگان طی ۱۴ سال باعث کاهش کارایی حمل‌ونقل عمومی شده و ساکنان را مجبور به استفاده از خودروهای شخصی و موتورسیکلت‌ها کرده است، به طوری که اکنون ۶۶ درصد سفرهای درون‌شهری تهران به این وسیله‌ها اختصاص دارد. به این مشکل باید اضافه کرد که اتوبوس‌های باقی‌مانده قدیمی هستند و اکثر آن‌ها از عمر مفید خود فراتر رفته‌اند، که به خرابی‌های مکرر و انتشار گازهای آلاینده زیاد منجر می‌شود [۳]. مطالعات نشان می‌دهد منابع متحرک، از جمله اتوبوس‌ها، ۶۱ درصد آلودگی‌های هوای تهران را تشکیل می‌دهند که نشان‌دهنده ضرورت نوسازی ناوگان است.

در حالی که سیستم مترو در تهران گسترش یافته است، پوشش آن همچنان محدود است و هزینه‌های ساخت آن به طور چشمگیری بالا است. اتوبوس‌ها در عوض، راه‌حلی انعطاف‌پذیر و قابل گسترش ارائه می‌دهند. با این حال، اتوبوس‌های دیزلی مرسوم بحران آلودگی را ادامه می‌دهند، بنابراین برقی‌سازی گام منطقی بعدی است. در سطح جهانی، شهرهایی مانند سنژن و سانتیاگو نشان داده‌اند اتوبوس‌های برقی می‌توانند انتشار گازهای گلخانه‌ای را تا ۷۵ درصد نسبت به معادل‌های دیزلی کاهش داده و همچنین هزینه‌های عملیاتی را طی زمان کاهش دهند. با این حال، رکود اقتصادی ایران که با نرخ تورم دو رقمی، کاهش ارزش پول و محدودیت در دسترسی به سرمایه‌گذاری‌های بین‌المللی همراه است پیشرفت در این زمینه را متوقف کرده است. سرمایه‌گذاری اولیه اتوبوس‌های برقی (۲ تا ۳ برابر بیشتر از اتوبوس‌های دیزلی) و زیرساخت‌های شارژ (که هزینه هر ایستگاه آن بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ هزار دلار تخمین زده می‌شود) مانعی بزرگ برای شهرداری‌هایی است که با کسری منابع مواجه هستند [۴].

مکانیزم‌های مالی سنتی، مانند اوراق بدهی شهرداری یا وام‌های بانکی، به دلیل نرخ‌های بهره بالای ایران و کمبود نقدینگی، عملاً در دسترس نیستند. برای حل این مشکل، این مقاله مدل صکوک اجاره به شرط تملیک را پیشنهاد می‌کند که با استفاده از بازارهای سرمایه، سرمایه‌گذاری‌های داخلی را بسیج می‌کند.

علاوه بر این، مطالعه حاضر از گواهی صرفه‌جویی انرژی (ESCs) و گواهی ردپای کربن برای تشویق به برقی‌سازی حمایت می‌کند. با اندازه‌گیری کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌ها از اتوبوس‌های برقی، شهرداری‌ها می‌توانند اعتبارهایی قابل معامله به دست آورند که از طریق بورس انرژی ایران به فروش می‌رسد. درآمد حاصل می‌تواند به خرید اتوبوس‌های برقی اضافی و زیرساخت‌ها کمک کند و چرخه‌ای خود تقویت‌کننده از پایداری ایجاد کند. چنین مکانیزم‌هایی با روندهای جهانی آب‌وهوا هم‌راستا هستند، از جمله ماده ۶ توافق پاریس که به تبادل اعتبار کربن بین‌المللی اشاره دارد.

در ادامه، بررسی می‌شود که چگونه بازار سرمایه ایران می‌تواند از طریق ابزارهای مالی نوآورانه، برقی‌سازی اتوبوس‌های شهری را تسریع کند و وابستگی به بودجه‌های عمومی تحت فشار را کاهش دهد.

۱-۱. مزایا و معایب برقی‌سازی اتوبوس شهری

سرمایه‌گذاری‌های شهری در اتوبوس‌های برقی و هیبریدی - برقی با هدف بهبود خدمات حمل‌ونقل عمومی برای ساکنان انجام

می‌شود [۵]. کاهش چشمگیر سطح نویز همچنین کیفیت زندگی ساکنان مناطق مجاور مسیرهای حمل‌ونقل را بهبود می‌بخشد و می‌تواند به خواب بهتر، توسعه شناختی مطلوب‌تر در کودکان و تأثیرات مثبت بر سلامت روان منجر شود [۶]. شواهد غیررسمی نشان می‌دهد اتوبوس‌های برقی تجربه‌ای راحت‌تر را هم برای مسافران و هم برای رانندگان فراهم می‌کنند. کاهش لرزش موتور، شتاب‌گیری نرم‌تر و عملکرد کم‌صداتر آن‌ها در مقایسه با اتوبوس‌های دیزلی، به سفری خوشایندتر منجر می‌شود [۷].

مهم‌ترین مزیت اتوبوس‌های برقی، کاهش آلودگی زیست‌محیطی است. مطالعات نشان می‌دهد اتوبوس‌های هیبریدی - برقی طی عمر عملیاتی خود میزان دی‌اکسید کربن (CO₂) کمتری نسبت به اتوبوس‌های دیزلی منتشر می‌کنند، در حالی که اتوبوس‌های کاملاً برقی می‌توانند میزان انتشار CO₂ را تا ۷۵ درصد کاهش دهند [۸]. درخور یادآوری است که میزان خالص این کاهش به منبع انرژی مورد استفاده برای تولید برق شبکه و عوامل مرتبط به آن بستگی دارد [۹]. علاوه بر این، عواملی مانند دما و توپوگرافی نیز بر میزان بهره‌مندی شهرها از مزایای اقلیمی این اتوبوس‌ها نیز تأثیر می‌گذارند.

هزینه کل مالکیت (TCO) یک شاخص کلیدی است که برای ارزیابی اقتصادی طرح‌های بهره‌برداری از اتوبوس‌ها در یک دوره زمانی خاص استفاده می‌شود. این معیار معمولاً به صورت ارزش فعلی محاسبه می‌شود و ارزش زمانی پول را در نظر می‌گیرد. هزینه کل مالکیت شامل هزینه‌های سرمایه‌ای (از جمله خرید اولیه اتوبوس‌ها و هزینه‌های مالی مرتبط) و هزینه‌های عملیاتی (هزینه‌هایی مانند نیروی کار، سوخت و نگهداری) می‌شود. هرچند که اتوبوس‌های کاملاً برقی نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه بالاتری دارند، اما تحقیقات نشان می‌دهند هزینه کل مالکیت آن‌ها نسبت به اتوبوس‌های با موتور احتراق داخلی (ICE) کمتر است [۱۰]. عوامل اصلی هزینه‌های بالای اولیه شامل تکنولوژی گران قیمت باتری، نیاز به زیرساخت‌های شارژ و هزینه‌های مرتبط با دفع و بازیافت باتری است.

جدول ۱. مقایسه انواع فناوری شارژ اتوبوس برقی [۱۱]

فناوری	مزایای بالقوه	معایب بالقوه	نمونه شهرها
هیبریدی (با قابلیت ترمز بازتابی انرژی)	<ul style="list-style-type: none"> فناوری قابل اعتماد و نسبتاً تثبیت شده که برقی‌سازی را آسان‌تر می‌کند. ترمز بازتابی به‌خوبی با شرایط ترافیکی توقف و حرکت شهری سازگار است. هیبریدهای پلاگ-این ظرفیت ذخیره انرژی اضافی دارند و از منبع برق خارجی شارژ می‌شوند. 	<ul style="list-style-type: none"> انتشار آلاینده‌های آگزوز ۱۰۰٪ حذف نمی‌شود. دستیابی به صرفه‌جویی در مصرف سوخت ضروری است. 	<ul style="list-style-type: none"> اوکلند، نیوزیلند؛ بوگوتا، کلمبیا؛ کوریتیبیا، برزیل؛ لندن، انگلستان؛ پاریس، فرانسه؛ فیلادلفیا و سیاتل، ایالات متحده؛ تورنتو، کانادا.
برقی (شارژ پلاگین)	<ul style="list-style-type: none"> می‌تواند در یک دیو یا در مسیر انجام شود. استفاده از فناوری شارژ سریع، ظرفیت عملیاتی را افزایش می‌دهد. 	<ul style="list-style-type: none"> نیازمند بهینه‌سازی دقیق مسیر. نیازمند سرمایه‌گذاری در فناوری شارژ جاده‌ای یا شارژهای هوایی. ممکن است بر قابلیت اطمینان شبکه برق تأثیر بگذارد. 	<ul style="list-style-type: none"> اوکلند، نیوزیلند؛ بوگوتا، کلمبیا؛ کلمبو، سریلانکا؛ کوریتیبیا، برزیل؛ گوتنبرگ، سوئد؛ لندن و میلتن کینز، انگلستان؛ نانجینگ، شنژن، تیانجین و ژوهای، چین؛ پاریس، فرانسه؛ فیلادلفیا، پومونا ولی و سیاتل، ایالات متحده؛ رم، ایتالیا؛ استکهلم، سوئد.
برقی (شارژ القایی)	<ul style="list-style-type: none"> کمتر مزاحم و در معرض آسیب یا خرابکاری نسبت به سایر فناوری‌های شارژ. اپراتورها می‌توانند از تکنیک‌های تکمیل شارژ استفاده کنند که اتوبوس‌ها را برای کل مسیر نزدیک به شارژ کامل نگه می‌دارد و برد آن‌ها را افزایش می‌دهد. 	<ul style="list-style-type: none"> نیازمند بهینه‌سازی دقیق مسیر. انعطاف‌پذیری طراحی مسیر را کاهش می‌دهد. نسبتاً گران قیمت. 	<ul style="list-style-type: none"> برلین، آلمان؛ گومی، کره جنوبی؛ لندن و میلتن کینز، انگلستان؛ پومونا ولی و سیاتل، ایالات متحده؛ تورین، ایتالیا.

۱-۲. مخارج سرمایه‌ای مورد نیاز برای برقی‌سازی ناوگان اتوبوس شهری

دارایی‌هایی که باید در جهت برقی‌سازی اتوبوس‌ها خریداری و نوسازی شوند شامل اتوبوس‌های برقی، ایستگاه‌های شارژ و تجهیزات انتقال برق، باتری، توقفگاه و تأسیسات تعمیر و نگهداری اتوبوس‌ها است.

اتوبوس‌های تمام الکتریکی فقط با برق تغذیه می‌شوند و از نظر حالت‌های شارژ، از جمله شارژ در مسیر و شارژ مبتنی بر توقفگاه، متفاوت هستند. تعمیر و نگهداری اتوبوس‌های تمام الکتریکی به ابزار و قطعات خاص، مانند موتور الکتریکی، سیستم کنترل الکترونیکی و باتری‌هایی که ممکن است دو تا سه بار طی عمر معمولی اتوبوس (۱۵-۲۰ سال) نیاز به تعویض داشته باشند، نیاز دارد.

بر اساس سرعت و ظرفیت شارژ، شارژرها معمولاً به سطوح شارژ سریع و آهسته طبقه‌بندی می‌شوند. تعاریف شارژ سریع و آهسته ممکن است از کشوری به کشور دیگر متفاوت باشد، اما سرعت را می‌توان با نرخ شارژ و تخلیه در مقایسه با ظرفیت باتری اندازه‌گیری کرد. شارژ می‌تواند در توقفگاه/پایانه یا در مسیر رخ دهد. شارژ توقفگاه معمولاً به صورت شبانه برای ساعت‌ها یا طی روز برای حدود یک ساعت در بین شیفت اتوبوس انجام می‌شود. شارژ پایانه معمولاً پس از اتمام یک سفر توسط اتوبوس انجام می‌شود و معمولاً فقط چند دقیقه طول می‌کشد تا جزئی شارژ شود.

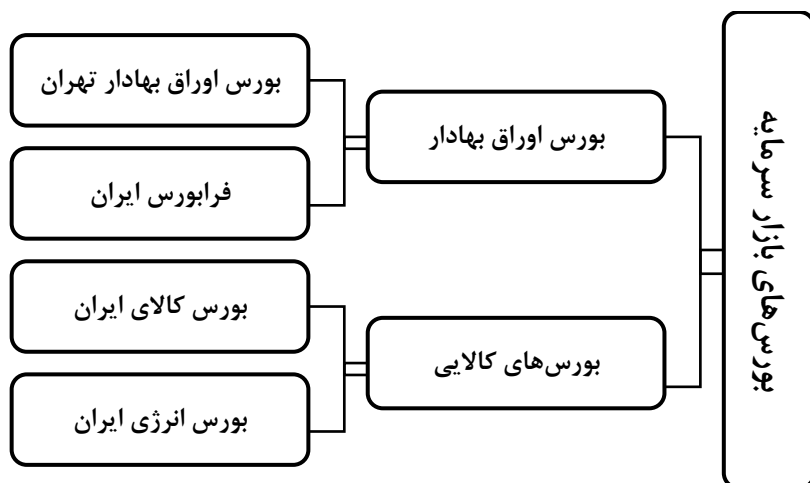
شارژ پلاگین بیشتر برای شارژ توقفگاه/پایانه استفاده می‌شود. شارژ در مسیر می‌تواند پلاگین یا القایی باشد. شارژهای پلاگین از یک اتصال خودکار استفاده می‌کنند (مورد استفاده در برلین، آلمان). شارژهای القایی بی‌سیم هستند و از پدهای مخصوص مجهز در جاده و زیر شکم اتوبوس برای انتقال برق استفاده می‌کنند (مورد استفاده در گومی، کره جنوبی و تورین، ایتالیا). شارژ در مسیر به اتوبوس‌ها اجازه می‌دهد بدون بازگشت به یک مرکز خدمات خارج از مسیر برای شارژ باتری طی روز، در حال استفاده باقی بمانند. علاوه بر این، از آنجا که ایستگاه‌های شارژ برای عملکرد به برق نیاز دارند، پایداری و دسترسی شبکه برای زیرساخت شارژ بسیار مهم است. بنابراین، تعامل شهرداری با شرکت برق حائز اهمیت است. اتصال برق به ایستگاه‌های شارژ و توقفگاه‌های اتوبوس بخش مهمی از سرمایه‌گذاری در اتوبوس‌های برقی است به‌ویژه برای مکانیزم‌های شارژ القایی، که به زیرساخت‌های جدید وابسته هستند [۱۲].

توقفگاه‌های اتوبوس سازه‌هایی هستند که اتوبوس‌ها و سایر تجهیزات را در خود جای می‌دهند و به عنوان تعمیرگاه و انبار عمل می‌کنند. اینجا جایی است که اتوبوس‌ها به صورت شبانه شارژ می‌شوند و باتری‌ها تعویض می‌شوند. با تأکید بیشتر بر تولید برق تجدیدپذیر، برخی از توقفگاه‌ها به برق بادی یا خورشیدی مجهز می‌شوند. متناسب با اندازه ناوگان و نوع شارژ نیز، به زمین مناسب نیاز است.

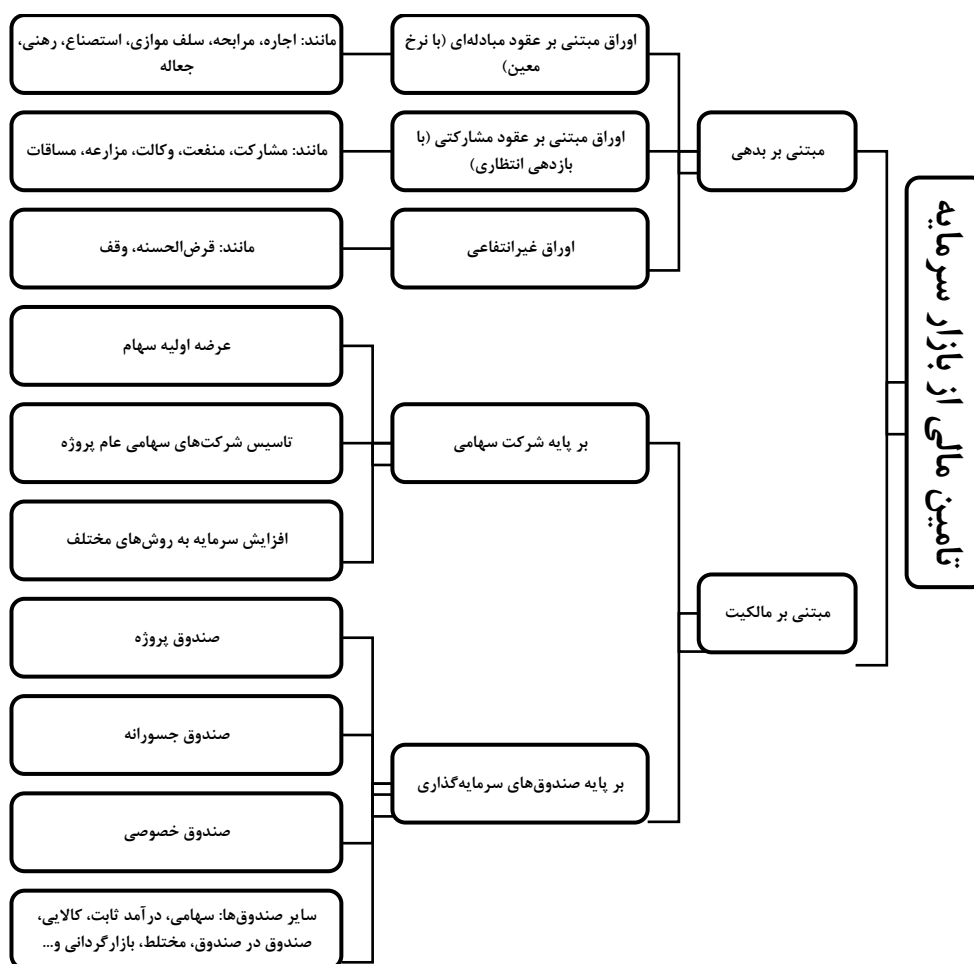
۱-۳. روش‌های تأمین مالی از بازار سرمایه ایران

همان‌طور که اشاره شد، تنگنای تأمین مالی در کنار مخارج سرمایه‌ای بالا، دو مانع اساسی بر سر راه توسعه ناوگان برقی هستند. بازار سرمایه بستری است که در آن‌ها اوراق بهادار بلندمدت مانند سهام و اوراق قرضه معامله می‌شوند. این بازارها سرمایه‌گذارانی که منابع مالی مازاد دارند را با شرکت‌هایی که به دنبال تأمین سرمایه برای توسعه هستند مرتبط می‌سازند [۱۳]. بازار سرمایه از دو بخش بازار اولیه (برای انتشار اوراق جدید) و بازار ثانویه (برای معامله اوراق موجود) تشکیل شده است. از جمله شرکت‌کنندگان کلیدی در این بازار می‌توان به سرمایه‌گذاران، شرکت‌ها، مؤسسات مالی و نهادهای نظارتی اشاره کرد. چارچوب‌های نظارتی قوی و شفافیت در بازار برای حفظ اعتماد سرمایه‌گذاران و پایداری بازار ضروری هستند [۱۴].

تأمین مالی از طریق بازار سرمایه بر دو اساس است؛ یکی مبتنی بر مالکیت و دیگری مبتنی بر بدهی. در شکل ۲ انواع روش‌های تأمین مالی نشان داده شده است.



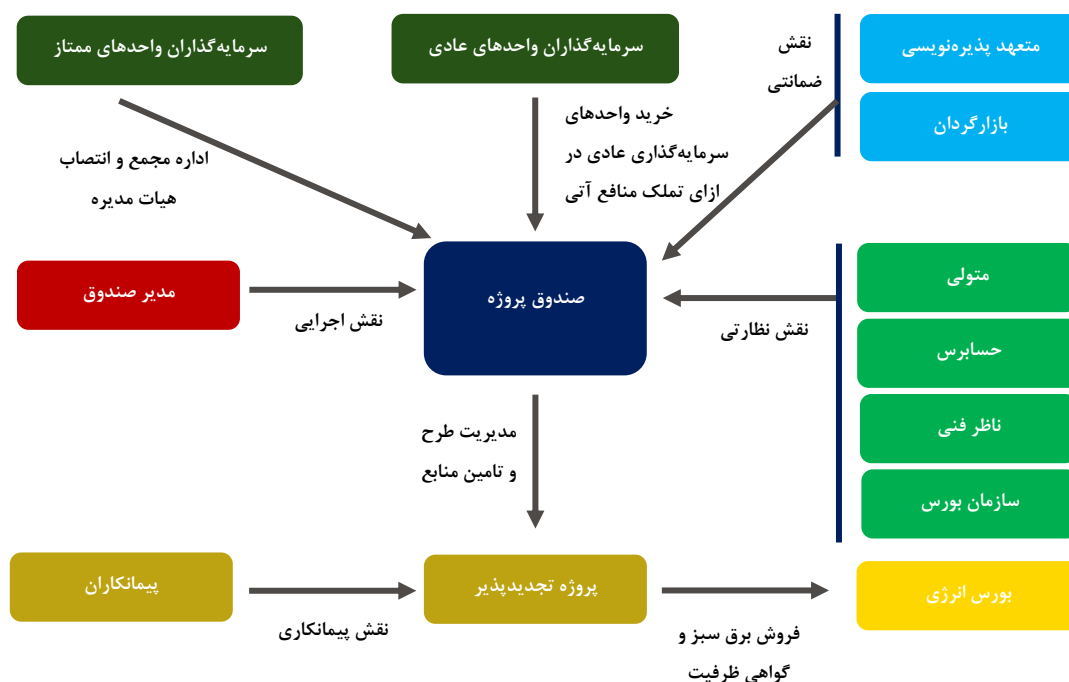
شکل ۱. بورس‌های بازار سرمایه ایران



شکل ۲. روش‌های تأمین مالی از بازار سرمایه ایران

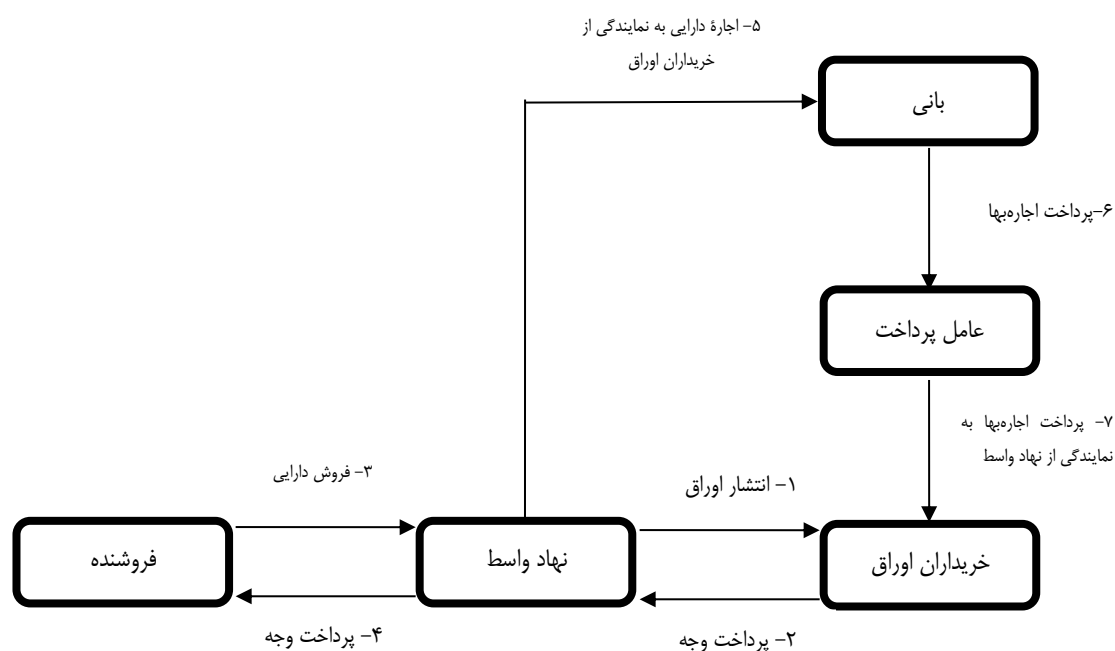
تأمین مالی مبتنی بر مالکیت از طریق ابزارهایی صورت می‌گیرد که حق مالکیت به دارنده آن اعطا می‌کنند؛ مرسوم‌ترین آن سهام عادی است که بیانگر مالکیت بر شرکت سهامی است. از سوی دیگر، تأمین مالی مبتنی بر بدهی از طریق ابزارهای بدهی مانند اوراق مشارکت و اوراق اجاره به شرط تملیک انجام می‌شود که بیانگر بدهی ناشر آن به دارنده اوراق است. در ادامه، به معرفی برخی از روش‌های تأمین مالی پرداخته می‌شود.

- تأسیس شرکت سهامی عام: یکی از روش‌های تأمین مالی برای طرح و پروژه، تأسیس یک شرکت سهامی عام و پذیره‌نویسی از عموم است. این روش برای آن دسته از طرح‌هایی مناسب است که در مرحله تأسیس و راه‌اندازی قرار دارند و از منظر مقرراتی، سقفی برای مبلغ تأمین مالی ندارد. تنها محدودیت بااهمیت موجود درباره تأمین مالی در این روش، کشش بازار و میزان تقاضای سرمایه‌گذاران است. هزینه‌ها پذیره‌نویسی شامل کارمدهای سازمان، دستمزد مشاور، متعهد پذیره‌نویسی و... است که تنها یک‌بار در زمان تأسیس و پذیره‌نویسی پرداخت می‌شود. همچنین، سررسید منابع حاصل از تأسیس شرکت سهامی عام نامحدود و مادام‌العمر است.
- پذیره‌نویسی عمومی شرکت پروژه سهامی عام: طبق ماده ۱ دستورالعمل نحوه صدور مجوز عرضه عمومی شرکت پروژه (سهامی عام) عبارت شرکت پروژه به شرکت سهامی عامی گفته می‌شود که به منظور اجرا و بهره‌برداری از پروژه‌های کلان انتفاعی که دارای توجیه فنی و اقتصادی هستند، تأسیس می‌شود. گاهی اوقات پروژه‌ای که قصد تأمین مالی آن وجود دارد در مرحله صفر قرار ندارد؛ در این شرایط، روش پذیره‌نویسی عمومی شرکت پروژه سهامی عام می‌تواند گزینه مناسبی باشد. از سوی دیگر، وقتی پروژه‌ای به بهره‌برداری نرسیده باشد، امکان تأمین مالی از روش‌های دیگر به‌خصوص دریافت تسهیلات وجود ندارد. در شرکت سهامی پروژه، مؤسسان با آورده نقدی و غیرنقدی (پروژه یا سیدی از پروژه‌ها) اقدام به افزایش سرمایه از محل سلب حق تقدم می‌کنند. آورده نقدی سهامداران جدید به شرکت پروژه تزریق شده تا پروژه‌ها تکمیل شوند.
- صندوق سرمایه‌گذاری پروژه: صندوق سرمایه‌گذاری پروژه با اخذ مجوز از سازمان بورس و اوراق بهادار تأسیس و به جمع‌آوری وجوه از سرمایه‌گذاران اعم از داخلی و خارجی و تخصیص آن به ساخت پروژه‌ای مشخص می‌پردازد. در واقع، موضوع این نوع صندوق، ساخت و تکمیل پروژه مورد نظر، پایان فعالیت صندوق و تقسیم عواید آن نزد سرمایه‌گذاران است. هزینه این نوع تأمین مالی هر سال تکرار می‌شود و صندوق کارمزد و کمیسیون مدیریت دارایی دریافت می‌کند. سررسید صندوق نیز می‌تواند بلندمدت یا کوتاه‌مدت باشد؛ اما باید مشخص شود که در پایان پروژه چه رویکردی اتخاذ می‌شود. در شکل ۳، مدل عملیاتی این صندوق نشان داده شده است.



شکل ۳. ساختار عملیاتی صندوق پروژه حوزه تجدیدپذیر

- تأمین مالی جمعی: این روش تأمین مالی شامل جمع‌آوری منابع خرد از تعداد زیادی سرمایه‌گذار و تخصیص آن‌ها به کسب‌وکارها است. در ایران از سال ۱۴۰۰ به این‌سو، این روش به عنوان یک روش سریع اما گران تأمین مالی در حال ترویج است. تأمین مالی جمعی می‌تواند از طریق وجوه خرد، اقدام به تأمین مالی بنگاه‌ها و طرح‌های کوچک (در حال حاضر با سقف ۵۰ میلیارد تومان) کند.
- اجاره به شرط تملیک: اوراق بهادار با نام قابل نقل و انتقالی است که نشان‌دهنده مالکیت مشاع دارنده آن در دارایی مبنای انتشار اوراق اجاره است. در شکل ۴ مدل عملیاتی اوراق اجاره به شرط تملیک نشان داده شده است.



شکل ۴. مدل عملیاتی اوراق اجاره به شرط تملیک

۱-۴. معیارهای شناسایی روش تأمین مالی موفق

- پس از مصاحبه با خبرگان تأمین مالی بازار سرمایه و بررسی ادبیات موضوعی چهار معیار برای ارزیابی روش‌های تأمین مالی برقی‌سازی ناوگان اتوبوس‌رانی در نظر گرفته شد:
- هزینه تأمین مالی: هزینه تأمین مالی به مجموع هزینه‌هایی که بنگاه اقتصادی به منظور تأمین سرمایه مورد نیاز خود باید به صاحبان سرمایه (سرمایه‌گذاران) یا بستانکاران (وام‌دهندگان) بپردازد اطلاق می‌شود. این شاخص از آن جهت اهمیت دارد که به طور مستقیم بر سودآوری کلی و توجیه‌پذیری طرح اثر می‌گذارد.
 - اندازه و ظرفیت جذب منابع: میزان سرمایه مورد نیاز پروژه بستگی به اندازه طرح دارد، همچنین انتخاب ابزار تأمین مالی نیز وابسته به اندازه پروژه است. به جز بحث مقررات، باید توجه کرد که ظرفیت تأمین مالی بازار سرمایه ایران، تابعی از ظرفیت تأمین مالی اقتصاد ایران است و نمی‌توان انتظار تأمین مالی در ابعاد میلیارد دلاری از ساختار موجود را داشت.
 - افق زمانی: هریک از منابع تأمین مالی با توجه به ساختار خود، افق زمانی تأمین مالی خاصی دارند که شرکت‌ها و پروژه‌ها باید به آن توجه کنند.
 - سهولت فرایند: تأمین مالی بنگاه‌ها از طریق بازار سرمایه فرایندی است که بسته به آمادگی شرکت و نوع ابزار مورد استفاده از ۲ ماه تا ۱۸ ماه زمان می‌برد. سهولت فرایندی را می‌توان برآیندی از مدت زمان ارسال درخواست تا جمع‌آوری منابع دانست که این موضوع تحت تأثیر الزامات قانونی و مراحل فرایندی هر ابزار تأمین مالی قرار دارد.

۱-۵. انتخاب روش تأمین مالی مناسب برقی سازی ناوگان اتوبوس رانی

انتخاب روش تأمین مالی مناسب برای هر پروژه، در موفقیت آن پروژه بسیار تأثیرگذار است و همه چیز را از سودآوری تا پایداری پروژه تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای انتخاب بهترین روش تأمین مالی ابتدا باید به ارزیابی روش‌های تأمین مالی پرداخت. متناسب با نیازها و ویژگی‌های هر پروژه‌ای، می‌توان معیارهایی برای ارزیابی روش‌های تأمین مالی ارائه کرد. انتخاب روش تأمین مالی مناسب، یک مسئله تصمیم‌گیری است. برای حل مسائل تصمیم‌گیری می‌توان از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کرد. یکی از این روش‌ها، TOPSIS نام دارد. این مدل یک تکنیک حل مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر فاصله است.

در دهه‌های اخیر با گسترش بازارهای مالی و بزرگ شدن صنایع، استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در تصمیمات مالی شرکت‌ها بسیار مرسوم شده است. در مقاله‌ای با عنوان «ارتباط تصمیم‌گیری چندمعیاره با تصمیمات مالی» نوشته هالرباخ و اسپرونک (۲۰۰۲)، محققان به دنبال این هستند که چرا تصمیمات مالی باید به عنوان تصمیمات چندمعیاره در نظر گرفته شوند. در نتایج پژوهش یادشده آمده است که با تمرکز بر سه حوزه اصلی مالی یعنی مالی شرکتی، سرمایه‌گذاری مالی و مدیریت ریسک، به نظر می‌رسد که بسیاری مسائل تصمیم‌گیری شامل چندین معیار و حتی چندین بازیگر است؛ بنابراین، این تصمیمات منجر به تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره می‌شود. به عنوان مثال، حوزه ریسک به طور طبیعی، چندبعدی است. ماهیت چندبعدی بسیاری از تصمیمات مالی - اقتصادی به استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره منجر می‌شود. به عنوان مثال، در رابطه با تحلیل ریسک مالی، در مقاله «ارزیابی الگوریتم‌های خوشه‌ای تحلیل ریسک مالی با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره» نوشته کو و همکاران (۲۰۱۴)، نوعی رویکرد مبتنی بر تصمیم‌گیری چندمعیاره برای اولویت‌بندی در تحلیل ریسک ارائه شده است. در این پژوهش از سری دیتاهای سه نمونه واقعی ریسک اعتباری و ورشکستگی استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده مؤثر بودن روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در تحلیل ریسک مالی است. مارکز، گارسیا و سانچز در مقاله‌ای با عنوان مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در کاربرد مدیریت مالی: تحلیل و چالش‌های نوظهور (۲۰۲۰)، به دنبال بررسی مطالعات انجام‌شده طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ که از تصمیم‌گیری چندمعیاره در مسائل مالی استفاده کرده‌اند، هستند. در این پژوهش با بررسی ۱۲۸۸ مقاله، به ۹۴ مقاله با شرایط مورد نظر پژوهش رسیدند که از میان این ۹۴ مقاله مالی، در ۴۲ مقاله از روش TOPSIS برای حل مسائل تصمیم‌گیری مالی استفاده شده است. طبق بررسی برنابئو، ویتوریا و وردو در مقاله «رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب تأمین مالی پروژه کاربردی در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر» (۲۰۱۵)، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر به طور قابل توجهی رشد کرده است. روش‌های AHP، ELECTRE، MAUT، PROMETHEE یا TOPSIS، اصلی‌ترین مدل‌های کاربردی در طرح‌های تجدیدپذیر هستند. مقاله شامل پنج بخش است. بخش اول شامل چکیده مقاله، بخش دوم مقدمه و مرور ادبیات، بخش سوم روش تحقیق، بخش چهارم ارائه نتایج و تفسیر آن‌ها و بخش پنجم نیز شامل نتیجه‌گیری است.

۲. روش تحقیق

همان‌طور که بیان شد، انتخاب بهترین روش تأمین مالی برقی‌سازی اتوبوس‌های شهری، یک مسئله تصمیم‌گیری است. برای حل مسئله تصمیم‌گیری در مباحث مالی، از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌کنیم.

۲-۱. مدل TOPSIS

با توجه به ماهیت مسئله و پژوهش‌های انجام‌شده در این حوزه، از روش TOPSIS استفاده شده است. این تکنیک به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا گزینه‌های در دسترس را هنگامی که معیارهای متعدد درگیر هستند تحلیل، مقایسه و رتبه‌بندی کنند. ریشه این مدل مربوط به مفهوم نقطه ایده‌آلی با کمترین فاصله از راه‌حل است (زلنی^۱، ۱۹۷۴). در ادامه هوانگ و یون^۲

1. Zeleny

2. Hwang and Yoon

(۱۹۸۱) بیان کردند که رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس کوتاه‌ترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل یا راه‌حل ایده‌آل مثبت (PIS^۱) و دورترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل منفی (NIS^۲) باشد. روش TOPSIS به طور هم‌زمان، فواصل دو نقطه PIS و NIS را در نظر می‌گیرد و یک رتبه‌بندی ترجیحی ارائه می‌کند. ایده اصلی این روش عبارت است از اینکه باور داشته باشیم که تابع فاصله یادشده، نماینده ترجیحات و مطلوبیت تصمیم‌گیرنده است.

روزکوسکا^۳ (۲۰۱۱) استدلال کرد که مزایای روش TOPSIS شامل سادگی، منطق، قابل درک بودن و توانایی اندازه‌گیری عملکرد نسبی هر گزینه در یک ساختار ریاضی ساده است. کیم و همکاران (۱۹۹۷) سه مزیت را برای TOPSIS بیان می‌کنند. این مزایا عبارت‌اند از:

- ارائه یک منطق صحیح که بیانگر منطق انسان است؛
- یک مقدار اسکالر که هر دو نقطه بدترین و بهترین را در نظر می‌گیرد؛
- یک برنامه محاسباتی ساده که به راحتی قابل انجام است.

کالیزوسکی و پودکویو (۲۰۱۶) به دو ایراد اساسی در استفاده از TOPSIS اشاره می‌کند. هر فرایند رتبه‌بندی شامل دو بخش است: بخش فنی برای محاسبه رتبه‌بندی و بخش شناختی برای استخراج اولویت‌ها. مشکل اول این روش این است که فقط بخش فنی را درک می‌کند و بخش شناختی در آن وجود ندارد. مشکل دوم نیز مربوط به وزن‌دهی است که وزن معیارها را مستقیم اندازه‌گیری نمی‌کند.

هوانگ و یون (۱۹۸۱) بیان می‌کنند که الگوریتم TOPSIS برای رتبه‌بندی و انتخاب شامل هفت مرحله زیر است:

۱. ایجاد یک ماتریس تصمیم یا ارزیابی (**D**): ماتریس باید شامل m گزینه و n معیار باشد.

$$D = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & \dots & X_j & \dots & X_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}_{m \times n}$$

۲. تشکیل ماتریس تصمیم نرمال (**R**): نرمال کردن ماتریس D به ماتریس R با m گزینه و n معیار.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, \quad R = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & \dots & X_j & \dots & X_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1j} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2j} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ r_{i1} & r_{i2} & \dots & r_{ij} & \dots & r_{in} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mj} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}_{m \times n}$$

۳. ایجاد ماتریس تصمیم نرمال موزون (**V**): از ضرب وزن هر معیار (w) در ماتریس R حاصل می‌شود.

$$w = (w_1, \dots, w_n), \text{ and } \sum_{j=1}^n w_j = 1, \text{ where } w_j > 0, j = 1, \dots, n$$

۴. تعیین راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت (**V+**) و منفی (**V-**):

$$V = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & \dots & X_j & \dots & X_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1j} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2j} & \dots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ v_{i1} & v_{i2} & \dots & v_{ij} & \dots & v_{in} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mj} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}_{m \times n}$$

$$V^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\} = \{(\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in I')\}$$

$$V^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} = \{(\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J')\}$$

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \text{ for alternative } A_i, i = 1, \dots, m.$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \text{ for alternative } A_i, i = 1, \dots, m.$$

۵. محاسبه Separation Measure برای هر گزینه (S):

۶. محاسبه نزدیکی نسبی هر گزینه (C): هر چه اندازه C بیشتر باشد، گزینه بهتر است.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$$

۷. رتبه‌بندی ترتیب ترجیحات همه گزینه‌ها؛ مرتب‌کردن گزینه‌ها را بر اساس مقدار C به صورت نزولی. در این صورت، گزینه منتخب، گزینه‌ای با بیشترین مقدار نزدیکی نسبی است.

۲-۲. تشکیل گروه دلفی و ارائه پرسشنامه

بر اساس ماهیت موضوع و محدودیت در داده، مطلوب‌ترین راه، بهره‌مندی از نظرات متخصصان حوزه تأمین مالی است. در این راستا، مدل دلفی به عنوان مدلی برای جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل نظرات متخصصان، مورد توجه قرار گرفت (پاول، ۲۰۰۳). اعضای گروه دلفی با نمونه‌گیری غیرتصادفی و ترکیبی از روش‌های هدف‌دار یا قضاوتی و زنجیره‌ای برگزیده شدند. سپس برای یک فهرست ۲۸ نفره از متخصصان، پرسشنامه ارسال شد. در نهایت ۲۱ نفر به پرسشنامه پاسخ دادند که پاسخ آن‌ها در قالب ماتریس تصمیم آورده شده است.

۳. تفسیر نتایج

با استفاده از نظر خبرگان تأمین مالی که حاصل ۲۳ پرسشنامه است، معیارهای ارزیابی روش تأمین مالی وزن‌دهی شده و سپس به هر روش تأمین مالی در هر معیار امتیاز داده می‌شود. در جدول ۲ ماتریس وزن معیارها نشان داده شده است.

جدول ۲. وزن معیارها

وزن هر معیار	معیارها
۰/۳۸	هزینه تأمین مالی
۰/۲۹	اندازه و ظرفیت جذب منابع
۰/۲۰	افق زمانی
۰/۱۳	سهولت فرایند

در جدول ۳ به هر یک از روش‌ها امتیاز داده شده و ماتریس تصمیم ایجاد شده است.

جدول ۳. ماتریس تصمیم

سهولت فرایند	افق زمانی	اندازه و ظرفیت جذب منابع	هزینه تأمین مالی	روش تأمین مالی
4.9	7.1	4.7	3.2	تأسیس شرکت سهامی
3.7	8.3	5.8	2.9	تأسیس شرکت پروژه
2.3	8.9	9.5	3.1	صندوق پروژه
6.4	1.5	1.8	4.8	تأمین مالی جمعی
9.1	6.7	8.6	1.6	اوراق اجاره به شرط تملیک

در جدول ۴ ماتریس تصمیم نرمال آورده شده است.

جدول ۴. ماتریس تصمیم نرمال

سهولت فرایند	افق زمانی	اندازه و ظرفیت جذب منابع	هزینه تأمین مالی	روش تأمین مالی
0.379446138	0.453001838	0.314608333	0.436030435	تأسیس شرکت سهامی
0.286520553	0.529565529	0.38824007	0.395152581	تأسیس شرکت پروژه
0.178107371	0.567847375	0.63591046	0.422404484	صندوق پروژه
0.495603119	0.095704614	0.120488298	0.654045652	تأمین مالی جمعی
0.704685685	0.427480608	0.575666311	0.218015217	اوراق اجاره به شرط تملیک

در جدول ۵ ماتریس تصمیم نرمال موزون آورده شده است.

جدول ۵. ماتریس تصمیم نرمال موزون

سهولت فرایند	افق زمانی	اندازه و ظرفیت جذب منابع	هزینه تأمین مالی	روش تأمین مالی
0.049327998	0.090600368	0.091236417	0.165691565	تأسیس شرکت سهامی
0.037247672	0.105913106	0.11258962	0.150157981	تأسیس شرکت پروژه
0.023153958	0.113569475	0.184414033	0.160513704	صندوق پروژه
0.064428405	0.019140923	0.034941606	0.248537348	تأمین مالی جمعی
0.091609139	0.085496122	0.16694323	0.082845783	اوراق اجاره به شرط تملیک

راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت (+V) و منفی (-V) در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶. راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی

0.091609139	0.113569475	0.184414033	0.082845783	V+
0.023153958	0.019140923	0.034941606	0.248537348	V-

در جدول ۷، نتایج رتبه‌بندی نشان داده شده است.

جدول ۷. نتایج ارزیابی

رتبه	Pi	Si-	Si+	روش تأمین مالی
4	0.485	0.126	0.134	تأسیس شرکت سهامی
3	0.576	0.153	0.113	تأسیس شرکت پروژه
2	0.656	0.198	0.104	صندوق پروژه
5	0.145	0.041	0.244	تأمین مالی جمعی
1	0.875	0.232	0.033	اوراق اجاره به شرط تملیک

نتایج نهایی ارزیابی و رتبه‌بندی به صورت جدول ۸ است.

جدول ۸. نتایج نهایی رتبه‌بندی

رتبه	روش تأمین مالی
۱	اوراق اجاره به شرط تملیک
۲	صندوق پروژه
۳	تأسیس شرکت پروژه
۴	تأسیس شرکت سهامی
۵	تأمین مالی جمعی

در نهایت بر اساس نظرسنجی از خبرگان، روش‌های تأمین مالی به روش TOPSIS ارزیابی شدند. استفاده از اوراق اجاره به شرط تملیک برای تأمین مالی برقی‌سازی ناوگان اتوبوس‌رانی شهری، در اولویت اول قرار گرفت. همان‌طور که بیان شد، اوراق اجاره به شرط تملیک، اوراق بهادار با نام قابل نقل و انتقالی است که نشان‌دهنده مالکیت مشاع دارنده آن در دارایی مبنای انتشار اوراق اجاره است. در این صورت، شهرداری تهران جهت تأمین مالی خرید اتوبوس‌های برقی و ایجاد زیرساخت، فرایند زیر را طی می‌کند:

۱. عقد قرارداد مشاوره عرضه توسط بانی (شهرداری) با یک نهاد دارای مجوز مشاوره عرضه؛
 ۲. دریافت موافقت اصولی تأمین مالی از طریق انتشار اوراق اجاره به شرط تملیک توسط مشاور عرضه به نمایندگی از بانی؛
 ۳. مراجعه مشاور عرضه به شرکت مدیریت دارایی مرکزی برای تعیین نهاد واسط؛
 ۴. انتشار اوراق توسط نهاد واسط پس از اخذ مجوز؛
 ۵. اجاره دادن اتوبوس‌های برقی به بانی (شهرداری) توسط نهاد واسط؛
 ۶. توزیع اجاره دارایی پرداخت‌شده توسط بانی (شهرداری) به سرمایه‌گذاران؛
 ۷. پایان مدت اجاره و فروش دارایی توسط نهاد واسط به بانی (شهرداری)، بازپرداخت مبلغ اسمی به سرمایه‌گذاران.
- ارکان اوراق اجاره به شرط تملیک شامل موارد زیر است:
- عامل پرداخت: شرکت سپرده‌گذاری مرکزی؛
 - بانی: شهرداری تهران که قصد تأمین مالی ناوگان اتوبوس برقی را دارد؛
 - عامل فروش: از میان شرکت‌های کارگزاری عضو بورس تهران یا فرابورس ایران که توسط بانی (شهرداری) انتخاب می‌شود؛
 - ضامن: می‌تواند بانک شهر باشد. ضامن شخصیتی حقوقی است که وجوه قابل پرداخت توسط بانی را تعهد و تضمین می‌کند؛
 - متعهد پذیرهنویسی: از بین نهادهای مالی دارای مجوز با تأیید سازمان توسط بانی (شهرداری) انتخاب می‌شود؛
 - بازارگردان: نهاد مالی دارای مجوز برای افزایش نقدشوندگی اوراق که توسط بانی (شهرداری) انتخاب می‌شود.
 - نهاد واسط: شخصیت حقوقی با مسئولیت محدود، توسط شرکت مدیریت دارایی مرکزی بازار سرمایه تشکیل می‌شود و به عنوان عامل انتشار انواع اوراق بهادار اسلامی یا همان صکوک، تنها نهادی است که می‌تواند اوراق بهادار اسلامی (صکوک) منتشر کند.

۳-۱. پایداری در چرخه خودتقویت‌کننده

بررسی داده‌های گذشته نشان می‌دهد آنچه به ایجاد کسری شدید در ناوگان اتوبوس‌رانی منجر شده، عدم پایداری نوسازی و رشد ناوگان است. برای حفظ مطلوبیت ایجادشده توسط برقی‌سازی ناوگان، عملیات نوسازی و تجهیز باید به طور پیوسته صورت گیرد؛ یعنی تأمین مالی نیز باید پیوسته باشد.

در این پژوهش در راستای ایجاد چرخه خودتقویت‌کننده، استفاده از دو ابزار گواهی صرفه‌جویی انرژی و گواهی کربن در ازای کاهش آلاینده‌ها توسط اتوبوس‌های برقی توصیه می‌شود. این دو گواهی در کنار اوراق اجاره به شرط تملیک، پاسخی جامع به پرسش مطرح‌شده در این مطالعه ارائه می‌کنند.

گواهی صرفه‌جویی انرژی اوراقی است که صرفه‌جویی انرژی ناشی از اجرای طرح‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی را تأیید می‌کند. این گواهی توسط نهادهای معتبر صادر شده و قابل فروش در بازار است. وزارت نفت می‌تواند به عنوان یک بازیگر مکمل در تأمین مالی برقی‌سازی اتوبوس‌ها، اقدام به صدور گواهی صرفه‌جویی انرژی برای شهرداری کند تا شهرداری با فروش آن در بازار، منابع لازم برای تداوم نوسازی و گسترش ناوگان را فراهم کند.

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش به دو بحران آلودگی هوا و ترافیک در تهران اشاره شد و ضرورت برقی‌سازی ناوگان اتوبوس‌رانی مورد بحث قرار گرفت. برای حل مشکل کمبود منابع مالی در وضعیت فعلی اقتصاد ایران، ابزارهای تأمین مالی از طریق بازار سرمایه معرفی شد. برای انتخاب بهترین گزینه، ابزارهای تأمین مالی توسط مدل TOPSIS مورد ارزیابی قرار گرفتند.

در نهایت اوراق اجاره به شرط تملیک در رتبه نخست قرار گرفت. این ابزار با جمع‌آوری وجوه از سرمایه‌گذاران، اتوبوس‌های برقی را تهیه می‌کند و به شهرداری تهران اجاره می‌دهد؛ در سررسید نیز با پرداخت کامل ارزش اسمی اوراق، اتوبوس‌ها در مالکیت شهرداری قرار می‌گیرند. همچنین، برای پایداری نوسازی و توسعه ناوگان، صدور گواهی صرفه‌جویی انرژی توسط وزارت نفت برای شهرداری و فروش آن در بازار پیشنهاد شد.

در این پژوهش فقط روی ناوگان اتوبوس‌رانی شهری تمرکز شده و سایر گزینه‌ها مانند مترو، تاکسی شهری و تاکسی اینترنتی در نظر گرفته نشده است. همچنین در گزینه‌های تأمین مالی نیز علی‌رغم پوشش هر دو نوع تأمین مالی مبتنی بر مالکیت و مبتنی بر بدهی، تأمین مالی از محل منابع بین‌المللی در نظر گرفته نشده است. با توجه به اهمیت کاهش آلاینده‌ها و روند گذار انرژی، می‌توان استفاده ظرفیت‌های بین‌المللی را نیز در نظر گرفت. برای مطالعات آتی، پیشنهاد می‌شود که ادبیات جهانی در بحث ابزارهای نوین تأمین مالی مورد بررسی قرار گیرد. همچنین، می‌توان به بررسی مشوق‌های لازم برای تسهیل فرایند تأمین مالی برقی‌سازی ناوگان پرداخت.

منابع

1. Nadimi N, Loo BP, Mansourifar F, Zayandehroodi MA, Kazemi M. Earthquake-related evacuation transportation: Insights from Kerman, Iran. *Cities*. 2025;158:105713.
2. Baghani AN, Dana E, Sorooshian A, Jafari AJ, Aalamolhoda AA, Sheikhi R, et al. Sensitivity of BTEX pollution and health effects to traffic restrictions: A case study in an urban center of Tehran, Iran. *Sustainable Cities and Society*. 2024;104:105281.
3. Iclodean C, Cordos N, Varga BO. Autonomous shuttle bus for public transportation: A review. *Energies*. 2020;13(11):2917.
4. Useche SA, Gómez V, Cendales B, Alonso F. Working conditions, job strain, and traffic safety among three groups of public transport drivers. *Safety and health at work*. 2018;9(4):454-61.
5. Quarles N, Kockelman K. Costs and benefits of electrifying and automating US bus fleets. 2018.
6. Basner M, Babisch W, Davis A, Brink M, Clark C, Janssen S, Stansfeld S. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The lancet*. 2014;383(9925):1325-32.
7. Anderson K, and S. Pejcic. 2019 [Available from: <https://www.metro-magazine.com/zero-emissions/article/734951/retrofitting-garages-for-zero-emissions-buses>].
8. Lajunen A, Lipman T. Lifecycle cost assessment and carbon dioxide emissions of diesel, natural gas, hybrid electric, fuel cell hybrid and electric transit buses. *Energy*. 2016;106:329-42.
9. Mulley C, Hensher DA, Cosgrove D. Is rail cleaner and greener than bus? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2017;51:14-28.
10. BNEF (Bloomberg New Energy Finance) 2019 [Available from: <https://about.bnef.com/blog/electric-buses-cities-driving-towards-cleaner-air-lower-co2/>].
11. Zhou Y, Wang H, Wang Y, Yu B, Tang T. Charging facility planning and scheduling problems for battery electric bus systems: A comprehensive review. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2024;183:103463.
12. Wang Y, Zhou Y, Yan X. Reliable dynamic wireless charging infrastructure deployment problem for public transport services. *European Journal of Operational Research*. 2024;313(2):747-66.
13. Primc K, Zabavnik D, Dominko M, Slabe-Erker R. Green financing for cutting emissions and simultaneous economic upturn in the European Union: Myth or reality? *Sustainable Futures*. 2024:100355.
14. Saunders A, Cornett MM, Erhemjams O. *Financial markets and institutions*. 2012.

Urban Development Policy Making

Vol. 2, No. 2, Summer 2025

Contents

- **The Health and Social Effects Attributed to Waste Pickers in Large Cities.....111**
Ali Behnami, Hasan Pasalari, Mitra Gholami
- **A Global Review of Artificial Intelligence Applications in Metropolitan Transportation..... 125**
Alireza Noory
- **Popularizing Urban Capital Projects: A Participatory Economics Approach to Enhancing Public Participation and Achieving Sustainable Growth in Metropolitan Areas141**
Reza Nasr Esfahani
- **Determining the Impacts of Household Hazardous Wastes on the Occupational Injuries of working in Municipal by Delphi Method: A Qualitative Study 159**
Houman Gholampour Arbastan, Hozhabr Gholampour Arbastan
- **Multi-Criteria Decision Making for Selecting the Optimal Urban Waste Management Method Using Analytic Hierarchy Process173**
Asma Fayazi, Reza Fallah, Sara Mahmoudian Younesi, Majid Zandi
- **An analysis of the role of urban policies on the development of the physical spatial structure of new Towns (Case study: Sadra City)189**
Ali Shamsoddini, Seyed Alireza Kazemi, Mohammad Ali Khaliji
- **Green Transformation of the Capital: A Comprehensive Vision for Electric Transportation in Tehran207**
Mehdi Bavoghar Zaeimi, Saman Mashaghzadeh, Ghasem Goodarzi, Mohammad Taghi Tahooneh, Amir Mahdavi
- **A Smart IoT-VR Framework for Designing Urban Flood Warning Systems231**
Ramtin Tavoosi Rad, Mohammad Ansari Ghojghar
- **Ranking of financing methods for electrification of urban bus fleets in the Iranian capital market.....247**
Seyed Mahdi Hosseini, Seyed Farhan Moosavian



Director-in-Charge

Dr. Mohammad Hossein Boochani

Editor-in-Chief

Dr. Hossein Yousefi

Deputy Director & Editor

Masoud Naddafan

Director-in-Chief

Zahra Golsa Rasaei

Executive Manager

Dr. Hosseinali Mehrnia

Executive Director

Marziyeh Razeghi

Graphist

Shahedeh Mohammad Alikhani

Technical Editor

Fatemeh Rashvand

English Editor

Dr. Farhad Mohabbati

Page Designer

Zahra Ostovari

Frequency: Quarterly

Print ISSN: 3092-653X

Online ISSN: 3092-6564

Peer Review: Double-blind

Publication Policy: Open Access

Ministry of Culture and Guidance License ID: 97426

License Dat: 14 April 2025

Address: Tehran, Karim Khan Zand Street, next to Behjat Abad Park, No. 195, opposite the Municipal Renovation Organization, Tehran Municipality Institute of Applied Scientific Higher Education

P.O. Box: 1594645119

Tel: +98-21-88924873, 88924876, 88898944

Email: amozesh.moasese@gmail.com

Website: <https://judpm.ir>

International Editorial Board

Dr. Behnam Mohammadi-ivatloo

Professor in Sector Coupling in Energy Systems, LUT University, Finland

Prof. Kourosh Behzadian

Smart Infrastructure and Civil Engineering, University of West London

Editorial Board

Dr. Younes Noorollahi

Professor, Energy System Engineering, University of Tehran

Dr. Hossein Yousefi

Professor, Environmental Engineering, University of Tehran

Dr. Bizhan Abbasi

Professor, Faculty of Law and Political Science of University of Tehran

Dr. Mohammad Aliakbari

Professor, Department of English Language Teaching, Ilam University

Dr. Seyed Abolfazl Zakerian

Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health Tehran University of Medical Sciences

Dr. Yousef Hojjat

Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Tarbat Modarres University, Tehran

Dr. Kianoosh Zakerhaghighi

Professor, South Tehran Campus, Islamic Azad University

Dr. Lotfollah. Forouzandeh

Professor, Department of Management, Tarbiat Modarres University, Tehran

Dr. Arastoo Yari Hesar

Professor, Urban and Rural Planning, University of Mohaghegh Ardabili

Dr. Soheila Parvin

Professor, Faculty of Economics, Allameh Tabatabaei University, Tehran, Iran

Dr. Moein Moeini-Aghtaie

Associate Professor, Energy Engineering, Sharif University of Technology

Dr. Reza Nasr Esfahani

Associate Professor of Urban Economic, Faculty of Entrepreneurship and Economics, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran

Dr. Seyed Davood Aghaee

Professor, Faculty of Law and Political Science of University of Tehran

Urban Development Policy Making

Summer 2025. Vol 02. Issue 02. Serial No. 03

The Health and Social Effects Attributed to Waste Pickers in Large Cities

Ali Behnami, Hasan Pasalari, Mitra Gholami

A Global Review of Artificial Intelligence Applications in Metropolitan Transportation

Alireza Noory

Popularizing Urban Capital Projects: A Participatory Economics Approach to Enhancing Public Participation and Achieving Sustainable Growth in Metropolitan Areas

Reza Nasr Esfahani

Determining the Impacts of Household Hazardous Wastes on the Occupational Injuries of working in Municipal by Delphi Method: A Qualitative Study

Houman Gholampour Arbastan, Hozhabr Gholampour Arbastan

Multi-Criteria Decision Making for Selecting the Optimal Urban Waste Management Method Using Analytic Hierarchy Process

Asma Fayazi, Reza Fallah, Sara Mahmoudian Younesi, Majid Zandi

An analysis of the role of urban policies on the development of the physical spatial structure of new Towns (Case study: Sadra City)

Ali Shamsoddini, Seyed Alireza Kazemi, Mohammad Ali Khaliji

Green Transformation of the Capital: A Comprehensive Vision for Electric Transportation in Tehran

Mehdi Bavoghar Zaeimi, Saman Mashaghzadeh, Ghasem Goodarzi, Mohammad Taghi Tahooneh, Amir Mahdavi

A Smart IoT-VR Framework for Designing Urban Flood Warning Systems

Ramtin Tavooosi Rad, Mohammad Ansari Ghojghar

Ranking of financing methods for electrification of urban bus fleets in the Iranian capital market

Seyed Mahdi Hosseini, Seyed Farhan Moosavian

