



سیاستگذاری پیشرفت شهری

زمستان ۱۴۰۴. دوره دوم. شماره ۰۴. شماره پیاپی: ۰۵

- ارزیابی سیاست‌ها و شیوه‌های دفع پسماند شهری و تأثیرات آن بر اکوسیستم شهری و سلامت عمومی
- شایسته ابراهیمی ذاکر، حمیدرضا اسمعیلی نژاد، نگین میرزایی
- نانومواد در ساختمان‌های انرژی‌صرف: مروری جامع بر دستاوردها، سیاست‌گذاری‌ها و آینده‌نگری‌های شهری
- علی یوسفی روشن، مهدی گندم‌زاده، یزدان الواری، اصلا غلامی، مجید زندی
- راهکارهای ارتقای مشارکت شهروندی و سرمایه‌گذاری در مدیریت شهری تهران: بررسی موانع، فرصت‌ها و تجارب موفق
- علی حیات‌نیا، نفیسه سادات میرنظامی
- الگویی جهت انتخاب سیستم مناسب مدیریت اسناد الکترونیکی در راستای ایجاد سازمان دانش‌محور شرکت بهره‌برداری متروی تهران
- هادی علی‌نیا گردودباری، سید مصطفی قاضی‌زاده هاشمی، سید محمود عمادی، سمیه منافی، نگین میرزایی، مبینا کلانتری
- بررسی سیاست‌ها و تجارب بین‌المللی در بهره‌گیری چندمنظوره از فضاهای زیرسطحی شهری با رویکرد ارتقای امنیت شهری
- مجتبی عراقی‌زاده
- بررسی سیاست‌های استفاده از ظرفیت ایستگاه‌های متروی تهران به عنوان پناهگاه با رویکرد مدیریت ازدحام جمعیت
- سولماز ارزنگی، مسعود ندافان
- مدیریت ایمنی حریق و راهبردهای ارتقای آن در کلان‌شهر تهران: مطالعه‌ای پیرامون چالش‌های ساختاری، عملکردی و فرهنگی
- قدرت‌الله محمدی، کامران عبدولی، وحید بهرامی



فصلنامه سیاست‌گذاری

پیشرفت شهری

زمستان ۱۴۰۴، دوره دوم، شماره ۴، شماره پیاپی ۵



صاحب امتیاز:

مؤسسه آموزش عالی علمی کاربردی شهرداری تهران

مدیر مسئول

دکتر محمدحسین بوچانی

مدرس دانشگاه، دکتری برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید بهشتی

سردبیر

دکتر حسین یوسفی

استاد دانشکده انرژی و منابع پایدار، دانشگاه تهران

جانشین مدیر مسئول و سردبیر

مسعود ندافان

مدیر نشریه

زهرا گلستا رسانی

مدیر اجرایی

دکتر حسینعلی مهرنیا

کارشناس نشریه

مرضیه رازقی

گرافیکست

ویدا محمدزاده اذانی

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: ۱۵۹۴۴۵۱۱۹

تلفن: ۰۲۱-۸۸۹۳۴۸۷۳، ۰۲۱-۸۸۹۳۴۸۷۴، ۰۲۱-۸۸۹۸۹۴۴

پست الکترونیکی: amozesh.moasesh@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

دکتر سعید محمدزاده بینا

استاد دانشکده تحصیلات تکمیلی علوم منابع بین‌المللی، گروه مهندسی منابع زمین و علوم محیطی،

دانشگاه آکیتا، ژاپن

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

دکتر سحر ندایی طوسی

دانشیار گروه برنامه‌ریزی و طراحی شهری و منطقه‌ای دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه

شهیدبهشتی

سیاستگذاری پیشرفت شهری

دوره دوم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۴

فهرست مقالات

- ارزیابی سیاست‌ها و شیوه‌های دفع پسماند شهری و تأثیرات آن بر اکوسیستم شهری و سلامت عمومی ۴۰۷
شایسته ابراهیمی ذاکر، حمیدرضا اسمعیلی‌نژاد، نگین میرزایی
- نانومواد در ساختمان‌های انرژی‌صفر: مروری جامع بر دستاوردها، سیاست‌گذاری‌ها و آینده‌نگری‌های شهری ۴۲۳
علی یوسفی روشن، مهدی گندم‌زاده، یزدان الواری، اصلان غلامی، مجید زندی
- راهکارهای ارتقای مشارکت شهروندی و سرمایه‌گذاری در مدیریت شهری تهران: بررسی موانع، فرصت‌ها و تجارب موفق ۴۴۵
علی حیات‌نیا، نفیسه سادات میرنظامی
- الگویی جهت انتخاب سیستم مناسب مدیریت اسناد الکترونیکی در راستای ایجاد سازمان دانش‌محور شرکت بهره‌برداری متروی تهران ۴۶۵
هادی علی‌نیا گردرودباری، سید مصطفی قاضی‌زاده هاشمی، سید محمود عمادی، سمیه منافی، نگین میرزایی، مبینا کلاتری
- بررسی سیاست‌ها و تجارب بین‌المللی در بهره‌گیری چندمنظوره از فضاهای زیرسطحی شهری با رویکرد ارتقای امنیت شهری ۴۷۵
مجتبی عراقی‌زاده
- بررسی سیاست‌های استفاده از ظرفیت ایستگاه‌های متروی تهران به عنوان پناهگاه با رویکرد مدیریت ازدحام جمعیت ۴۹۱
سولماز ارژنگی، مسعود ندافان
- مدیریت ایمنی حریق و راهبردهای ارتقای آن در کلان‌شهر تهران: مطالعه‌ای پیرامون چالش‌های ساختاری، عملکردی و فرهنگی ۵۱۱
قدرت‌الله محمدی، کامران عبدولی، وحید بهرامی

باسمه‌تعالی

سخن مدیرمسئول

شهرنشینی و به‌ویژه نظام کلان‌شهری در ایران با وجود فرصت‌های مناسبی که برای پیشرفت نسبی به وجود آورده‌اند، از سوی دیگر تحت شرایط ملی و نارسایی‌ها و چالش‌های کل سرزمین، کانون مجموعه بحران‌های درهم‌تنیده شده‌اند. در شرایط کنونی به واسطه تصمیمات احساسی سیاسی و خارج از رویه کارشناسی، هر ساختار، نهاد و یا فرد به میزان قدرت و ظرفیت رسانه‌ای که در اختیار دارد، برای عبور و به‌گشت چالش‌های نظام کلان‌شهری و شهرنشینی ایران، نسخه‌ای عمومی و بدون امکان عملیاتی شدن، بیان شفاهی می‌کند و به واسطه قدرت اداری، دستور اجرایی شدن و کار کارشناسی روی آن می‌دهد.

تقریباً هر دوره چندماهه نظام کلان‌شهری (مدیریت و شهروندان) در ایران با مجموعه‌ای از بحران‌های رو به رشد دست‌به‌گریبان می‌شود. در فصل سرما، بحران آلودگی هوا و وارونگی دما؛ در شروع دوره آموزش و مدارس، افزایش حدود ۳۰ درصدی ترافیک به واسطه جابه‌جایی فراگیران تحصیل و آموزش رسمی؛ در دوره گرما، تنش کم‌آبی و ناترازی انرژی وجود دارد. به‌جز این موارد، نارسایی‌ها و چالش‌های ثابتی همانند فقر فراگیر و نابرابری فضایی و تنش درآمدی برای شهروندان، اصناف و شهرداری‌ها، تنش در دسترسی به مسکن (بر اساس آمارها، بیش از ۵۰ درصد سبد هزینه خانوار به موضوع اجاره و مسکن اختصاص دارد) تنش بیکاری و مهاجرت و تمرکزگرایی نیز باید به این بحران‌ها اضافه کرد. از حیث نهادی، تفرق مدیریتی و کاهش بهره‌وری و فقدان کارآمدی و شایستگی حکمروایی نیز همواره در نظام مدیریت شهری مطرح است. باید به این لیست تنش سرمایه اجتماعی، بحران‌ها و حوادث غیرمترقبه و تروریسم را نیز اضافه کرد. همچنین، فرسودگی بافت‌های شهری، ضعف در بهره‌وری منابع انسانی و نیز، نارسایی در نظام سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و عمومی و چندین مسئله دیگر نیز وجود دارد. به‌راستی چاره این کلکسیون نامیمون بحران در نظام مدیریت شهری و کلان‌شهری ایران چیست؟ ضعف در چاره‌جویی برای مدیریت و کنترل بحران‌ها در سطوح ملی و شهری تا جایی پیش رفته است که رئیس‌جمهور، دکتر مسعود پزشکیان، فراخوان عمومی ایده کاربردی برای حل چالش‌ها ارائه می‌دهد و با عبارت «شما بگویند من با این محدودیت‌ها و مشکلات چه کار کنم» به نارسایی جدی در کشور برای سیاست‌گذاری در پاسخ به چالش‌ها و نظام مسائل ملی، منطقه‌ای و شهری می‌پردازد.

طرح این دیدگاه‌ها و موضوعات مشابه در سطح کشور نشان می‌دهد مطالعه و پژوهش برای «سیاست‌گذاری پیشرفت در سطوح ملی و شهری» ضرورتی اولویت‌دار و کلیدی است و باید همه نهادها در خصوص مسائل فراروی خود به مطالعات کاربردی و نوآورانه برای شناسایی ریشه نارسایی‌ها و همچنین راه حل‌های علمی و کاربردی بپردازند. امیدواریم «فصلنامه سیاست‌گذاری پیشرفت شهری» با همت تحریریه، محققان، مدیران، کارشناسان و حرفه‌مندان توانمند و متخصص بتواند در سطح مدیریت شهری و کلان‌شهری برای رسیدن به راه حل شایسته و کاربردی در پاسخ به بحران‌ها کمک کند.

محمد حسین بوچانی



Assessment of Urban Waste Policies and Disposal Practices and Their Impacts on Urban Ecosystem and Public Health

Shayesteh Ebrahimi Zaker^{1*} | Hamidreza Esmailinejad² | Negin Mirzaei³

1. Corresponding Author, School of Energy Engineering and Sustainable Resources, College of Interdisciplinary Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: ebrahimizaker.sh@ut.ac.ir

2. Department of mechanical and energy engineering, Shahid Beheshti university, A.C. Tehran, Iran. Email: h.esmaeilnejad@mail.sbu.ac.ir

3. School of Energy Engineering and Sustainable Resources, College of Interdisciplinary Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: neginmirzaei@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:

Received 04 April 2025

Revised 05 May 2025

Accepted 05 June 2025

Published Online 11 September 2025

Keywords:

Municipal waste,
Waste disposal,
Waste management,
Environmental pollution,
Health risks.

ABSTRACT

Municipal solid waste management (MSWM) poses significant environmental challenges in large metropolitan areas such as Tehran. This study aims to systematically assess the environmental impacts of various waste treatment scenarios using the Life Cycle Assessment (LCA) methodology and the SimaPro software. Four commonly implemented strategies-sanitary landfill, recycling, composting, and incineration-were evaluated based on midpoint indicators (global warming, acidification, human toxicity, particulate matter formation, and resource depletion) and endpoint indicators (damage to human health, ecosystems, and economic resources). The results indicate that landfill operations and related transportation activities exert the highest environmental burdens across all assessed impact categories. Conversely, recycling and anaerobic digestion emerged as more environmentally sustainable alternatives with significant potential to mitigate adverse impacts. The findings highlight the critical need to reform the current waste management system in Tehran through source separation, deployment of advanced waste processing technologies, and increased energy efficiency in waste transport. This research provides a robust scientific basis to inform strategic policymaking and enhance the environmental performance of urban waste management systems.

Cite this article: Ebrahimi Zaker, Sh; Esmailinejad, H. & Mirzaei, N. (2026). Assessment of Urban Waste Policies and Disposal Practices and Their Impacts on Urban Ecosystem and Public Health. *Urban Development Policy Making*, 2 (4), 407-422. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.520111.1038>



© Shayesteh Ebrahimi Zaker, Hamidreza Esmailinejad, Negin Mirzaei

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.520111.1038>

Introduction

The rapid urbanization and population growth in Tehran have significantly increased municipal solid waste (MSW) generation, intensifying the pressure on existing waste management infrastructure. Given the environmental consequences of conventional waste handling methods, particularly landfilling, this study aims to provide a comprehensive evaluation of the environmental impacts associated with different MSW management strategies using the Life Cycle Assessment (LCA) approach.

Materials and Methods

The study employs SimaPro software to conduct a cradle-to-grave LCA of four commonly practiced waste management scenarios in Tehran: sanitary landfill, recycling, composting, and incineration. The analysis is performed based on ReCiPe 2016 methodology, covering both midpoint indicators (global

warming potential, acidification, human toxicity, particulate matter formation, and resource depletion) and endpoint indicators (damage to human health, ecosystems, and economic resources). The functional unit is defined as the treatment of one ton of municipal solid waste.

Discussion and Conclusion

The findings reveal that landfilling, along with its associated transportation processes, exhibits the highest environmental burden across nearly all impact categories, particularly in terms of greenhouse gas emissions, acidification, and human health damage. In contrast, alternative methods such as recycling and anaerobic digestion demonstrate considerably lower environmental impacts, highlighting their potential for sustainable waste management. Transportation also emerged as a critical phase contributing significantly to total emissions, suggesting the need for route optimization and cleaner fuels.

The study underlines the urgent need to transition from landfill-centric systems to integrated waste management strategies that prioritize material recovery and energy efficiency. Enhancing source separation, investing in advanced treatment technologies, and incorporating renewable energy into waste operations can substantially mitigate environmental harm. The results serve as a scientific basis for policymakers in Tehran to design and implement sustainable MSWM frameworks aligned with global environmental standards and national development goals.



ارزیابی سیاست‌ها و شیوه‌های دفع پسماند شهری و تأثیرات آن بر اکوسیستم شهری و سلامت عمومی

شایسته ابراهیمی ذاکر^{۱*} | حمیدرضا اسمعیلی نژاد^۲ | نگین میرزایی^۳

۱. نویسنده مسئول، دانشکده انرژی و منابع پایدار، دانشکده‌گان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: ebrahimizaker.s@ut.ac.ir
۲. گروه مهندسی مکانیک و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: h.esmaeilnejad@mail.sbu.ac.ir
۳. دانشکده انرژی و منابع پایدار، دانشکده‌گان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: neginemirzaei@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰

کلیدواژه:

پسماند شهری،

دفع زباله،

مدیریت پسماند،

آلودگی زیست‌محیطی،

خطرات بهداشتی.

مدیریت پسماند شهری، به‌ویژه در کلان‌شهرهایی مانند تهران، یکی از چالش‌های اساسی در حوزه پایداری زیست‌محیطی محسوب می‌شود. هدف این پژوهش، ارزیابی سیستماتیک اثرات زیست‌محیطی سناریوهای مختلف مدیریت پسماند با رویکرد ارزیابی چرخه حیات (LCA) و بهره‌گیری از نرم‌افزار تخصصی SimaPro است. در این راستا، چهار گزینه شامل دفن بهداشتی، بازیافت، کمپوست و سوزاندن پسماند، بر اساس شاخص‌های میانی نظیر گرمایش جهانی، اسیدی شدن، سمیت انسانی، تشکیل ذرات معلق، و کاهش منابع، و همچنین شاخص‌های نهایی شامل آسیب به سلامت انسان، اکوسیستم‌ها و منابع اقتصادی، مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر اساس نتایج حاصل، سناریوی دفن پسماند و مراحل مرتبط با حمل‌ونقل، بیشترین بار زیست‌محیطی را در تمامی شاخص‌ها ایجاد کرده‌اند. در مقابل، بازیافت و هضم بی‌هوازی به عنوان گزینه‌های کم‌اثرتر شناسایی شدند که می‌توانند به طور مؤثری در کاهش پیامدهای منفی زیست‌محیطی ایفای نقش کنند. تحلیل یافته‌ها نشان‌دهنده ضرورت اصلاح ساختار فعلی مدیریت پسماند در تهران از طریق بهینه‌سازی فرایندهای جمع‌آوری و تفکیک در مبدأ، توسعه فناوری‌های نوین پردازش پسماند و ارتقای بهره‌وری انرژی در حمل‌ونقل است. نتایج این مطالعه می‌تواند به عنوان مبنایی علمی برای تصمیم‌گیری‌های راهبردی در جهت بهبود عملکرد زیست‌محیطی سیستم‌های مدیریت پسماند شهری مورد استفاده قرار گیرد.

استناد: ابراهیمی ذاکر، شایسته؛ اسمعیلی نژاد، حمیدرضا و میرزایی، نگین (۱۴۰۴). ارزیابی سیاست‌ها و شیوه‌های دفع پسماند شهری و تأثیرات آن بر اکوسیستم شهری و سلامت عمومی. *سیاست‌گذاری پیشرفت شهری*، ۲ (۴) ۴۰۷-۴۲۲.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.520111.1038>

© شایسته ابراهیمی ذاکر، حمیدرضا اسمعیلی نژاد، نگین میرزایی

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.520111.1038>



۱. مقدمه

مدیریت پسماند جامد شهری (MSW) یکی از چالش‌های بزرگ زیست‌محیطی و بهداشتی در جوامع مدرن است که با افزایش چشمگیر تولید پسماند در مناطق شهری، به یکی از دغدغه‌های اصلی دولت‌ها و سازمان‌های بین‌المللی تبدیل شده است. رشد سریع جمعیت، شهرنشینی فزاینده و تغییرات در الگوهای مصرف، تولید پسماند را در بسیاری از کشورهای جهان افزایش داده است [۱ و ۲]. پسماندهای جامد شهری به‌ویژه با ترکیب پیچیده‌ای از مواد آلی، فلزات، پلاستیک‌ها و مواد شیمیایی خطرناک همراه هستند که در صورت عدم مدیریت صحیح، می‌توانند تأثیرات منفی زیادی بر محیط زیست و سلامت عمومی بگذارند [۳-۵]. از این‌رو، مدیریت مناسب پسماند به عنوان یکی از ابعاد کلیدی توسعه پایدار شهری در نظر گرفته می‌شود.

یکی از مشکلات اساسی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، کمبود زیرساخت‌های مناسب برای مدیریت پسماند است. دفن غیراصولی و مدیریت نادرست زباله‌ها به‌ویژه در شهرهای بزرگ، باعث آلودگی منابع آب، خاک و هوا می‌شود که این موضوع تهدیدی جدی برای سلامت انسان‌ها و اکوسیستم‌ها است [۶ و ۷]. از این‌رو، نیاز به شیوه‌های جدید و نوآورانه برای کاهش تولید پسماند و بهبود مدیریت آن در حال افزایش است. مطالعات مختلف نشان می‌دهند سیستم‌های مدیریت پسماند سنتی، به دلیل محدودیت‌ها و اثرات منفی زیست‌محیطی، باید با روش‌های پایدار و کارآمدتر جایگزین شوند [۸ و ۹].

در سال‌های اخیر، توجه به شیوه‌های پایدار و تکنولوژی‌های نوین برای مدیریت پسماند افزایش یافته است. از جمله این شیوه‌ها، می‌توان به بازیافت، کاهش مصرف، استفاده از منابع تجدیدپذیر برای تولید انرژی و تفکیک زباله‌ها در مبدأ اشاره کرد [۱۰ و ۱۱]. این تکنیک‌ها نه تنها به کاهش پسماندهای دفنی کمک می‌کنند، بلکه به کاهش مصرف منابع طبیعی و آلاینده‌ها نیز منجر می‌شوند. به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته، فرایندهایی مانند بازیافت مواد مختلف و تبدیل آن‌ها به منابع قابل استفاده مجدد، به بخش اصلی از استراتژی‌های مدیریت پسماند تبدیل شده‌اند [۱۲ و ۱۳].

توسعه پایدار شهری نیازمند پیاده‌سازی سیستم‌های مدیریت پسماند یکپارچه است که بتوانند از تولید زباله‌ها پیشگیری کنند و به طور مؤثر بازیافت و دفع زباله‌ها را انجام دهند. بسیاری از پژوهش‌ها بر این موضوع تأکید دارند که مدیریت پسماند باید از یک رویکرد سیستمی پیروی کند که در آن فرایندهای مختلف به طور هماهنگ عمل کنند تا اثربخشی بیشتری در کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی داشته باشد [۱۴]. در این زمینه، تکنیک‌های مدل‌سازی و ارزیابی زیست‌محیطی، از جمله ارزیابی چرخه حیات (LCA)، می‌توانند به شناسایی مؤثرترین شیوه‌ها برای مدیریت پسماند در سطح شهری کمک کنند [۱۵ و ۱۶].

به طور کلی، هدف از مدیریت پسماند، نه تنها حفظ سلامت عمومی و محیط زیست است، بلکه باید با استفاده از شیوه‌های پایدار، به کاهش تأثیرات منفی بر محیط زیست، کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری نیز کمک کند. این اهداف با بهره‌گیری از رویکردهای نوین مانند بازیافت، مدیریت منابع تجدیدپذیر و استفاده از فناوری‌های پیشرفته در دفع پسماندها قابل دستیابی است [۱۶ و ۱۷].

۲. مبانی تحقیق

پژوهش‌های مختلف در زمینه ارزیابی و بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت پسماند در کشورهای مختلف انجام شده است. این مطالعات با استفاده از ارزیابی چرخه حیات، رویکردها و روش‌های متنوعی را برای تحلیل تمامی مراحل از تولید تا دفع نهایی پسماندها بررسی کرده و هدف آن‌ها، کاهش اثرات زیست‌محیطی مدیریت پسماندها و بهبود کارایی سیستم‌ها است.

مطالعات متمرکز بر تصفیه مکانیکی - بیولوژیکی (MBT)^۱ و سیستم‌های یکپارچه نتایج امیدوارکننده‌ای را نشان داده‌اند. کوئلهو و لانگه [۸] ترکیب MBT با کمپوست و هضم بی‌هوازی را در برزیل ارزیابی کردند و مزایای بهینه زیست‌محیطی و اقتصادی این ادغام را نشان دادند. به طور مشابه، فرناندز - گونزالز و همکارانش [۱۷] ترکیب‌های MBT با دفن زباله، سوزاندن و هضم بی‌هوازی را در اسپانیا بررسی کردند و مزایای زیست‌محیطی استفاده از فناوری‌های تبدیل زباله به انرژی را برجسته کردند.

1. Municipal Solid Waste

2. Mechanical-Biological Treatment

لیو و همکارانش [۱۸] با استفاده از مدل EASETECH به مقایسه سیستم‌های یکپارچه پرداختند و دریافتند که ترکیبی از سوزاندن، هضم بی‌هوازی و بازیافت گاز محل دفن زباله بیشترین مزایای زیست‌محیطی را به همراه دارد.

تحقیقات متمرکز بر هضم بی‌هوازی و تصفیه پسماند آلی به‌ویژه روش‌نگر بوده است. آنجلو و همکارانش [۱۹] سناریوهای مدیریت پسماند برزیل را بررسی کردند و نشان دادند افزایش جداسازی پسماند آلی برای هضم بی‌هوازی، اثرات زیست‌محیطی را کاهش داده و تولید انرژی تجدیدپذیر را افزایش می‌دهد. یو و لی [۲۰] جداسازی متوسط پسماند آشپزخانه خانگی را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که پسماند آلی جدا شده از مبدأ به طور قابل توجهی وابستگی به محل دفن زباله را کاهش می‌دهد. یانگ و همکارانش [۲۱] تحلیل مقایسه‌ای انجام دادند که نشان می‌دهد هضم بی‌هوازی پایدارترین گزینه برای مدیریت پسماند غذایی خانگی است.

مطالعات سوزاندن و بازیابی انرژی مزایای زیست‌محیطی قابل توجهی را نشان داده‌اند. جسوانی و آزاپاگیک [۲۲] سناریوهای سوزاندن و دفن زباله را با بازیابی انرژی در انگلستان مقایسه کردند و دریافتند که سوزاندن با تولید هم‌زمان برق و حرارت (CHP) مزایای زیست‌محیطی قابل توجهی ارائه می‌دهد. تاگلیافری و همکارانش [۲۳] پتانسیل سوزاندن و احتراق زیست‌توده را بررسی کردند و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مزایای اقتصادی از طریق بازیابی انرژی را برجسته کردند. ریگاموتی و همکارانش [۲۴] هزینه‌های چرخه عمر بازیابی انرژی از سوخت بازیافتی جامد در ایتالیا را تحلیل کردند و نشان دادند در مقایسه با دفن مستقیم، تأثیرات زیست‌محیطی و اقتصادی کمتری دارد.

رویکردهای بازیابی منابع و اقتصاد چرخشی توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده‌اند. نگ و همکارانش [۲۵] بازیابی روی از پسماند شهری را بررسی کردند و نشان دادند علاوه بر مزایای اقتصادی اضافی، بارهای زیست‌محیطی را نیز کاهش می‌دهد. ژو و همکارانش [۲۶] مدل ارزیابی پایداری را با تأکید بر رویکردهای اقتصاد چرخشی توسعه دادند، در حالی که ژانگ و همکارانش [۲۷] استراتژی‌های پایدار را با تأکید بر اصول اقتصاد چرخشی بررسی کردند. براردوکو و همکاران [۲۸] سیستم‌های بازیافت تک‌جریانی و چندجریانی را مقایسه کردند و دریافتند که سیستم‌های چندجریانی نرخ بازیابی مواد را افزایش می‌دهند.

چندین مطالعه بر ارزیابی و بهینه‌سازی جامع سیستم متمرکز شده‌اند. سارایوا و همکاران [۲۹] مدیریت پسماند در برزیل را با استفاده از روش ILCD ارزیابی کردند و دریافتند که افزایش نرخ‌های جداسازی پس از جمع‌آوری، پایداری سیستم را بهبود می‌بخشد. بیسینلا و همکارانش [۳۰] جمع‌آوری جداگانه، بازیافت، سوزاندن و هضم بی‌هوازی را در دانمارک ارزیابی کردند و نشان دادند نرخ‌های بالاتر بازیافت و بازیابی انرژی، اثرات زیست‌محیطی را به حداقل می‌رساند. فی و همکارانش [۳۱] سناریوهای مختلف را در چین تحلیل کردند و تعیین کردند که هضم بی‌هوازی و سوزاندن سوخت مشتق شده از زباله کمترین تأثیر زیست‌محیطی را دارد.

در نهایت، این تحقیقات نشان می‌دهند استفاده از روش‌های مختلف مانند هضم بی‌هوازی، سوزاندن با بازیابی انرژی و سیستم‌های یکپارچه می‌تواند به طور چشمگیری اثرات زیست‌محیطی سیستم‌های مدیریت پسماند را کاهش دهد. در این مطالعه، به منظور ارزیابی جامع اثرات زیست‌محیطی سیستم مدیریت پسماند شهری، از روش ReCiPe استفاده خواهد شد که شامل تحلیل ۱۸ شاخص میانی (Midpoint) و ۳ شاخص نهایی (Endpoint) است. در سطح Midpoint، شاخص‌هایی مانند تغییرات اقلیمی، اسیدی شدن، سمیت انسانی، اوتریفیکاسیون آب شیرین و دریایی، تخلیه منابع فسیلی، تخلیه آب، تخلیه منابع معدنی، اکسیداسیون فتوشیمیایی، لایه ازن، تابش یونیزه‌کننده، سمیت آب شیرین و دریایی، سمیت خاک، تغییر کاربری زمین، و تشکیل ذرات معلق مورد بررسی قرار می‌گیرند. این شاخص‌های میانی سپس به سه شاخص نهایی شامل سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم و کمپایی منابع جمع می‌شوند تا تصویری جامع از اثرات زیست‌محیطی سیستم ارائه دهند. این تحلیل با استفاده از نرم‌افزار SimaPro انجام خواهد شد که امکان محاسبه دقیق این شاخص‌ها را فراهم می‌کند.

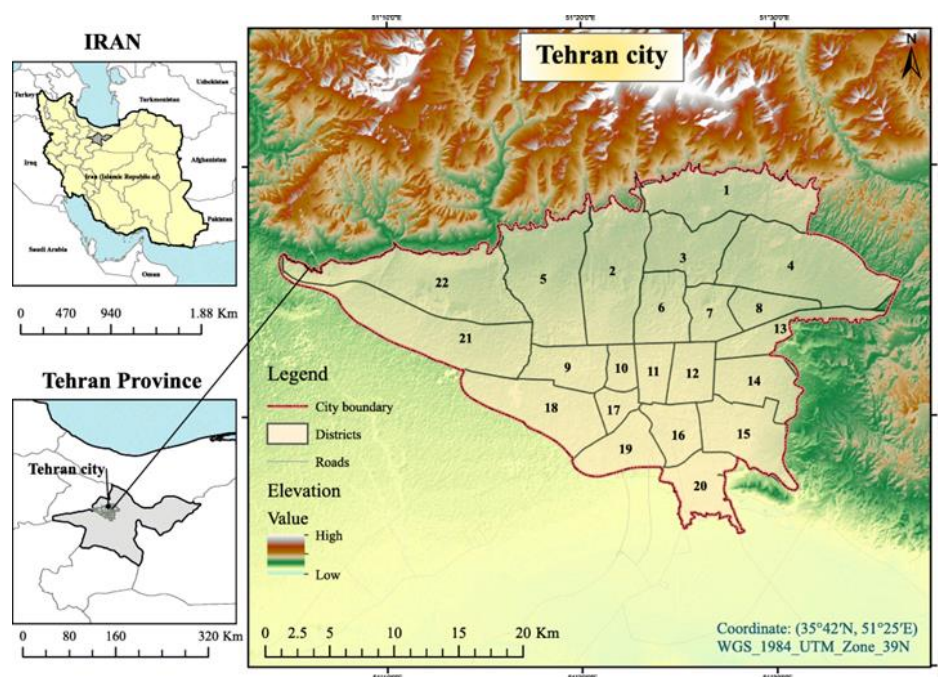
۳. روش کار

این مقاله به بررسی ارزیابی چرخه حیات^۱ فرایندهای مدیریت پسماند می‌پردازد. در این مطالعه، از نرم‌افزار SimaPro برای

تحلیل اثرات زیست‌محیطی، مصرف انرژی و ارزیابی پایداری روش‌های مختلف مدیریت پسماند استفاده شده است. هدف این پژوهش، ارائه تحلیلی جامع از کارایی و عملکرد زیست‌محیطی این فرایندها به منظور شناسایی و انتخاب بهینه‌ترین روش برای مدیریت پسماند است.

۳-۱. مورد مطالعاتی

شهر تهران، پایتخت ایران، با جمعیتی حدود ۹ میلیون نفر و مساحت ۷۳۰ کیلومتر مربع به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است [۳۲ و ۳۳]. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، این شهر به ۲۲ منطقه شهرداری تقسیم شده است که بزرگ‌ترین منطقه آن مساحتی برابر با ۱۳۹ کیلومتر مربع و کوچک‌ترین منطقه ۸/۰۷ کیلومتر مربع وسعت دارد [۳۴].



شکل ۱. نقشه شهر تهران و تقسیم‌بندی مناطق ۲۲گانه به همراه موقعیت استان تهران در نقشه ایران [۳۵]

مدیریت پسماند شهری در تهران به صورت ترکیبی انجام می‌شود و شامل مراکز تفکیک، بازیافت پسماند و دفن زباله است [۳۲]. طبق آمارهای اخیر، روزانه حدود ۷ هزار تن زباله شهری (MSW) در تهران تولید می‌شود. این زباله‌ها به مرکز پردازش و دفع زباله آرادکوه، واقع در جنوب شرقی تهران، منتقل می‌شوند. این مرکز زباله‌های مخلوط را از منابع مختلف شامل خانگی، سازمانی، تجاری و صنایع کوچک دریافت می‌کند. همچنین، حدود ۵۰۰ متر مکعب شیرابه روزانه در بخش‌های مختلف این مرکز تولید شده و به سیستم مدیریت شیرابه هدایت می‌شود [۳۳]. در این مطالعه فاصله آرادکوه تا محل تولید پسماند در شهر تهران به طور میانگین ۴۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است.

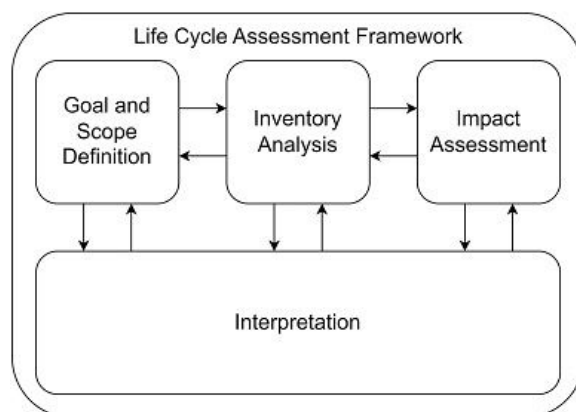
۳-۲. ارزیابی چرخه حیات

ارزیابی چرخه حیات روشی جامع برای بررسی اثرات زیست‌محیطی محصولات یا خدمات طی چرخه عمر آنها است. این فرایند با توجه به شکل ۲، از چهار مرحله تشکیل شده است که اولین مرحله تعریف هدف و محدوده^۱ بوده و در آن اهداف مطالعه، واحد عملکردی و مرزهای سیستم به طور دقیق مشخص می‌شوند. این مرحله، چارچوبی روشن و هدفمند فراهم می‌سازد تا بتوان به مسائل کلیدی مانند مقایسه گزینه‌های مختلف یا شناسایی ضعف‌ها برای بهبود پرداخته شود. تعیین دقیق این عناصر، اساس تولید نتایجی است که از نظر علمی معتبر و برای تصمیم‌گیری‌های پایداری کاربردی باشند [۳۶].

در مرحله دوم، که به تجزیه و تحلیل سیاهه^۱ اختصاص دارد، داده‌های جامع و دقیق مورد نیاز برای ارزیابی چرخه حیات گردآوری می‌شود. این داده‌ها شامل اطلاعات مربوط به انتشار آلاینده‌ها به هوا، آب و خاک، میزان مصرف منابع تجدیدپذیر و غیرتجدیدپذیر، و انرژی مصرفی در تمامی مراحل چرخه عمر محصول یا خدمات است. هدف این مرحله، شناسایی بخش‌هایی از چرخه عمر است که بیشترین سهم را در اثرات زیست‌محیطی دارند [۳۶].

در مرحله ارزیابی اثرات زیست‌محیطی^۲، داده‌های جمع‌آوری شده در مرحله فهرست چرخه عمر به دسته‌بندی‌های معنادار از اثرات زیست‌محیطی ترجمه می‌شوند. در این مرحله، آلاینده‌ها و منابع مصرفی بر اساس تأثیر آن‌ها در زمینه‌های مختلف زیست‌محیطی، مانند تغییرات اقلیمی، تخریب لایه ازن، یا آسیب به سلامت انسان و اکوسیستم‌ها، تحلیل و دسته‌بندی می‌شوند. این مرحله نه تنها به درک بهتر سهم هر مرحله از چرخه عمر در ایجاد اثرات زیست‌محیطی کمک می‌کند، بلکه چارچوبی علمی برای اولویت‌بندی اقدامات کاهش اثرات فراهم می‌آورد. این مرحله با ارائه اطلاعات دقیق و مرتبط، امکان اتخاذ تصمیمات آگاهانه را برای بهبود پایداری و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی تسهیل می‌کند [۳۶].

در نهایت، مرحله تفسیر^۳ نتایج شامل جمع‌بندی یافته‌ها، شناسایی فرصت‌های بهبود و بررسی صحت و دقت نتایج است. در این مرحله، تحلیل حساسیت انجام می‌شود تا تأثیر تغییرات احتمالی در داده‌ها بر نتایج بررسی شود و راهکارهایی برای کاهش اثرات زیست‌محیطی ارائه شود. نتایج حاصل از LCA دیدگاهی جامع و شفاف به سیاست‌گذاران، صنایع و مصرف‌کنندگان ارائه می‌دهد و به تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر پایداری کمک می‌کند. این روش، علاوه بر تقویت مدیریت زیست‌محیطی، طراحی پایدار و سیاست‌گذاری‌های هوشمندانه را نیز ترویج می‌کند و به ایجاد تعادل میان توسعه اقتصادی و حفاظت از محیط زیست کمک شایانی می‌کند [۳۶].



شکل ۲. چارچوب جامع ارزیابی چرخه حیات [۳۷]

۳-۲-۱. SimaPro

SimaPro ابزاری پیشرفته است که به تصمیم‌گیری آگاهانه و پایدار در زمینه استفاده از محصولات و تأثیرات زیست‌محیطی آن‌ها کمک می‌کند. این نرم‌افزار به شرکت‌ها، پژوهشگران و کارشناسان محیط زیست امکان می‌دهد تا چرخه کامل حیات یک محصول را از استخراج مواد اولیه تا دفع نهایی آن به دقت بررسی کنند. این نرم‌افزار با ارائه تحلیلی جامع از تأثیرات زیست‌محیطی و اجتماعی در هر مرحله، نقش مهمی در ارزیابی‌های پایداری ایفا می‌کند [۳۸].

کاربران SimaPro از طریق این ابزار به اطلاعات دقیق در زمینه مصرف منابع، انتشار آلاینده‌ها و تولید پسماند دسترسی پیدا می‌کنند و می‌توانند داده‌های پیچیده را به استراتژی‌های قابل اجرا تبدیل کنند. چه هدف طراحی مجدد محصولات برای بهبود عملکرد زیست‌محیطی باشد و چه بهینه‌سازی زنجیره‌های تأمین برای پایداری بیشتر، بینش‌های مبتنی بر داده SimaPro از

1. Life Cycle Inventory Analysis
2. Impact Assessment
3. Interpretation

تصمیم‌گیری‌های آگاهانه که تغییرات مثبت و معناداری ایجاد می‌کند، پشتیبانی می‌کند. علاوه بر این، SimaPro با ادغام با پایگاه‌های داده جهانی، دسترسی به اطلاعات قابل اعتماد و به‌روز را تضمین می‌کند تا تصمیم‌گیری‌ها بر اساس جدیدترین دانش انجام شوند [۳۸].

۳-۲-۲. تعریف هدف و محدوده

این ارزیابی چرخه عمر (LCA) به طور دقیق به بررسی اثرات مثبت و منفی فرایندهای مختلف مدیریت پسماند شهری طی یک سال می‌پردازد. تحقیق اصلی بر مدیریت پسماند در مقیاس شهری با تمرکز بر جمع‌آوری، حمل‌ونقل، دفع و بازیافت پسماند و همچنین تولید انرژی از آن، به‌ویژه با در نظر گرفتن هزینه‌های محیطی و مصرف منابع، متمرکز است. این رویکرد نگاهی جامع به پایداری دارد و با بررسی این فرایندها و پتانسیل آن‌ها برای بهینه‌سازی، هدف کاهش اثرات زیست‌محیطی را دنبال می‌کند و در عین حال از تأمین یک سیستم قابل اعتماد و مؤثر برای مدیریت پسماند شهری اطمینان حاصل می‌کند. این تحلیل به عنوان یک مطالعه دروازه تا گور در نظر گرفته شده است که از مرحله جمع‌آوری پسماند، از طریق حمل‌ونقل و دفع تا فرایندهای مختلف دفع نهایی شامل دفن زباله، سوزاندن، بازیافت و کمپوست را شامل می‌شود. واحد عملکرد به صورت حجم پسماند تولیدی که به روش‌های مختلف مدیریت و دفع پسماند پرداخته شده باشد، تعریف می‌شود. واحد عملکرد در این ارزیابی برای مقایسه اثرات زیست‌محیطی، تولید یک تن پسماند شهری در نظر گرفته شده است.

۳-۲-۳. تحلیل سیاهه چرخه عمر

در این تحقیق، اطلاعات مربوط به ترکیب زباله‌های شهری مربوط به شهر تهران جمع‌آوری شده است. پسماندها به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند که هر یک ویژگی‌ها و چالش‌های خاص خود را دارند. این پسماندها عمدتاً به پنج دسته اصلی شامل فلزات، پلاستیک، کاغذ و مقوا، شیشه و مواد فاسدشدنی و غیره تقسیم می‌شوند. در جدول ۱، درصد ترکیب و وزن کل هر نوع پسماند در مجموعه کل پسماندهای تولیدی آورده شده است. این داده‌ها به مدیران کمک می‌کند تا دیدگاه جامع‌تری نسبت به نوع و میزان پسماندهای تولیدی داشته باشند و تصمیم‌گیری‌های بهتری در راستای مدیریت آن‌ها اتخاذ کنند.

جدول ۱. ترکیب فیزیکی زباله‌های تولیدی در کلان‌شهر تهران در سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰

مواد تشکیل‌دهنده	زباله (تن)	زباله (درصد)
فلزات	۴۴۹۴۶۸,۲۵	۴,۳
پلاستیک	۷۵,۱۹۷۵۵۶۹	۲۹
کاغذ و مقوا	۷۵,۸۴۶۶۷۲	۱۶
شیشه	۷۵,۳۸۶۷۵۱	۱۸
مواد فاسدشدنی و سایر مواد	۵,۶۷۹۴۲۸۷	۲۳
جمع کل	۱۰۴۵۲۷۵۰	۱۰۰

با توجه به ترکیب این پسماندها، هر یک از آن‌ها به روش‌های خاصی برای پردازش نیاز دارند. در مجتمع آرادکوه، چهار روش اصلی پردازش پسماندها شامل دفن، کمپوست، سوزاندن و بازیافت مورد استفاده قرار می‌گیرند. در جدول ۲، سهم هر یک از این روش‌ها در پردازش پسماندها به تفکیک ارائه شده است. این اطلاعات نشان‌دهنده میزان کاربرد هر روش در پردازش پسماندها است و به طور خاص مشخص می‌کند که بخش عمده‌ای از پسماندها به روش دفن در محل‌های دفن زباله پرداخته می‌شود، در حالی که مقادیر کمتری از پسماندها به کمپوست، سوزاندن و بازیافت اختصاص می‌یابد. انتخاب هر یک از این روش‌ها بستگی به ویژگی‌های پسماند، شرایط محیطی و منابع در دسترس دارد.

جدول ۲. درصد پردازش انواع پسماند در مجتمع آرادکوه [۳۹-۴۱]

نوع پردازش	درصد پسماندهای پردازش شده در آرادکوه
دفن	۸۲٫۸
کمپوست	۱۰٫۵
سوزاندن	۰٫۷
بازیافت	۶

بیشترین حجم پسماندها در مجتمع آرادکوه به روش دفن اختصاص می‌یابد که این امر به دلیل هزینه‌های پایین‌تر و سهولت اجرایی آن است. با این حال، دفن زباله‌ها چالش‌های زیست‌محیطی متعددی از جمله آلودگی آب‌های زیرزمینی، آلودگی خاک، و انتشار گازهای گلخانه‌ای به همراه دارد. در مقابل، روش‌های بازیافت و کمپوست به عنوان گزینه‌های سازگارتر با محیط زیست، علی‌رغم سهم کمتر، دارای پتانسیل قابل توجهی برای کاهش اثرات زیست‌محیطی و ارتقای پایداری هستند. تحلیل موجودی چرخه عمر این امکان را فراهم می‌آورد که اثرات زیست‌محیطی هر روش پردازش پسماند به طور دقیق مورد ارزیابی قرار گیرد. این تحلیل، علاوه بر شناسایی چالش‌ها، می‌تواند راهکارهایی برای بهبود کارایی سیستم‌های مدیریت پسماند ارائه دهد. به طور خاص، استفاده از این ابزار تحلیلی می‌تواند به اتخاذ سیاست‌های هوشمندانه‌تر در جهت کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی، بهینه‌سازی فرایندهای مدیریت پسماند، و حرکت به سوی سیستم‌های پایدارتر کمک کند.

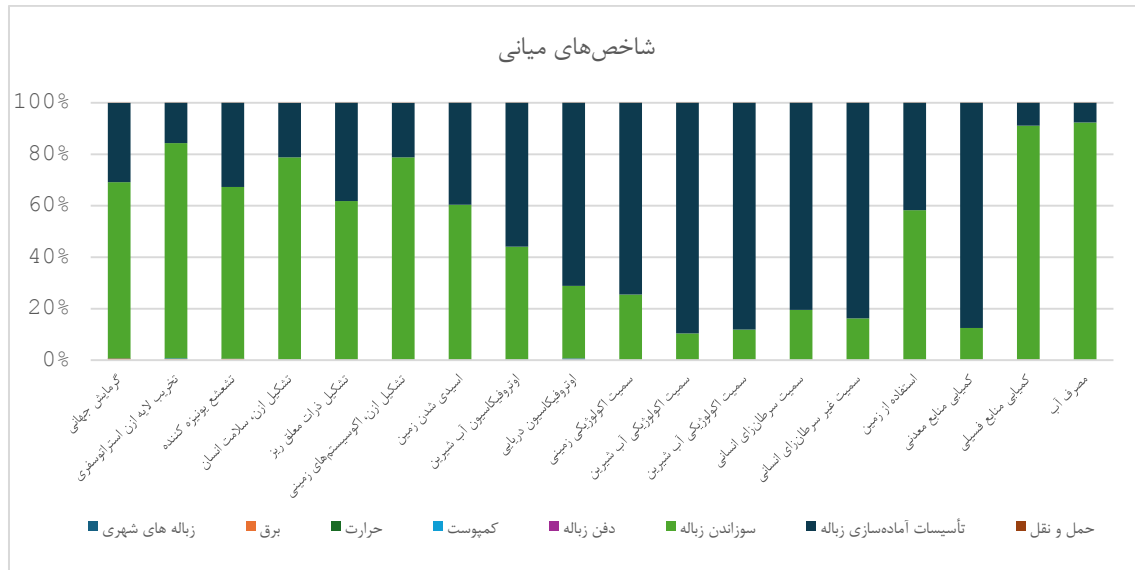
۴. نتایج

در ارزیابی چرخه عمر، تأثیرات زیست‌محیطی فرایندهای مختلف در دو سطح میانی و نهایی بررسی می‌شود. در سطح میانی، تأثیرات مرتبط با بخش‌های مختلف سیستم شامل تولید برق، مدیریت پسماند، حمل‌ونقل و سایر فرایندهای مرتبط مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در این بخش، تأثیرات زیست‌محیطی از طریق شاخص‌هایی نظیر گرمایش جهانی، سمیت اکولوژیکی، تخریب لایه ازن، تشکیل ازن، فقدان منابع معدنی و فسیلی و مصرف آب بررسی می‌شود. در ادامه، در سطح نهایی، تأثیرات زیست‌محیطی بر سلامت انسان، اکوسیستم‌ها و منابع با استفاده از شاخص‌های خاصی ارزیابی می‌شود. این دو سطح ارزیابی، به طور جامع، نشان‌دهنده آثار گسترده‌ای از فعالیت‌های مختلف بر محیط زیست هستند که نیاز به اقدامات اصلاحی در زمینه بهینه‌سازی فرایندها و استفاده از منابع پایدار را نمایان می‌سازد.

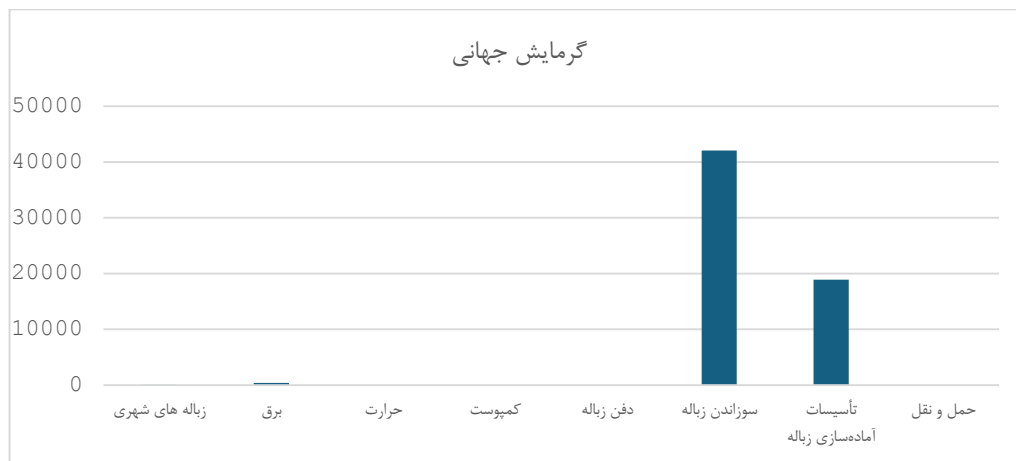
۴-۱. شاخص‌های میانی

در این تحلیل، به بررسی اثرات مختلف زیست‌محیطی بر اساس شاخص‌های مختلف پرداخته شده است. این شاخص‌ها شامل گرمایش جهانی، تخریب لایه ازن، تشعشعات یونیزه‌کننده، تشکیل ازن و ذرات معلق، اسیدی شدن زمین، کمیابی منابع معدنی و فسیلی، مصرف آب و زمین و همچنین سمیت‌های مختلف اکولوژیکی هستند که همه آن‌ها بر اساس فرایندهای مختلف صنعتی نظیر آماده‌سازی زباله‌ها، حمل‌ونقل و تولید انرژی تأثیرگذار هستند. در این بخش، نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل چرخه عمر در شکل ۳ ارائه شده است.

یکی از شاخص‌های مهم در این تحلیل، گرمایش جهانی است که با واحد کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید اندازه‌گیری می‌شود. این شاخص نشان‌دهنده میزان انتشار دی‌اکسید کربن معادل در فرایندهای مختلف است که موجب تغییرات اقلیمی و گرم شدن کره زمین می‌شود. مطابق شکل ۴، تأسیسات آماده‌سازی زباله دارای بیشترین سهم در تولید گازهای گلخانه‌ای هستند و پس از آن، فرایندهایی همچون سوزاندن و دفن زباله‌ها بیشترین انتشار را به همراه دارند. به طور مشخص، تأسیسات آماده‌سازی زباله ۴۲۰۵۸/۵۹ کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید تولید می‌کند که بخش عمده‌ای از این آلودگی‌ها ناشی از سوخت‌های فسیلی و انرژی‌های مورد استفاده در این فرایندها است. این امر نشان می‌دهد به منظور کاهش اثرات گرمایش جهانی، باید به دنبال کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در این فرایندها باشیم.



شکل ۳. نمودار نتایج شاخص‌های تأثیرات زیست‌محیطی در سطح میانی برای فرایندهای مختلف



شکل ۴. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای هر بخش در مدیریت پسماند

در کنار گرمایش جهانی، تشکیل ازن به‌ویژه از طریق اکسیدهای نیتروژن (NO_x) نیز یک شاخص مهم زیست‌محیطی است که تأثیر زیادی بر سلامت انسان‌ها دارد. انتشار اکسیدهای نیتروژن از تأسیسات مختلف می‌تواند به تشکیل ازن سطحی و کاهش کیفیت هوا منجر شود. در این زمینه، حمل‌ونقل و تأسیسات آماده‌سازی زباله بیشترین تأثیر را دارند. برای مثال، تأسیسات آماده‌سازی زباله تولید $232/39$ کیلوگرم معادل اکسیدهای نیتروژن می‌کنند. ازن سطحی به‌ویژه برای افراد مبتلا به بیماری‌های تنفسی و قلبی - عروقی خطرناک است و می‌تواند به افزایش مرگ‌ومیر و بیماری‌ها منجر شود. بنابراین، کاهش انتشار اکسیدهای نیتروژن و استفاده از فناوری‌های پاک‌تر در حمل‌ونقل و فرایندهای صنعتی برای بهبود کیفیت هوا ضروری است.

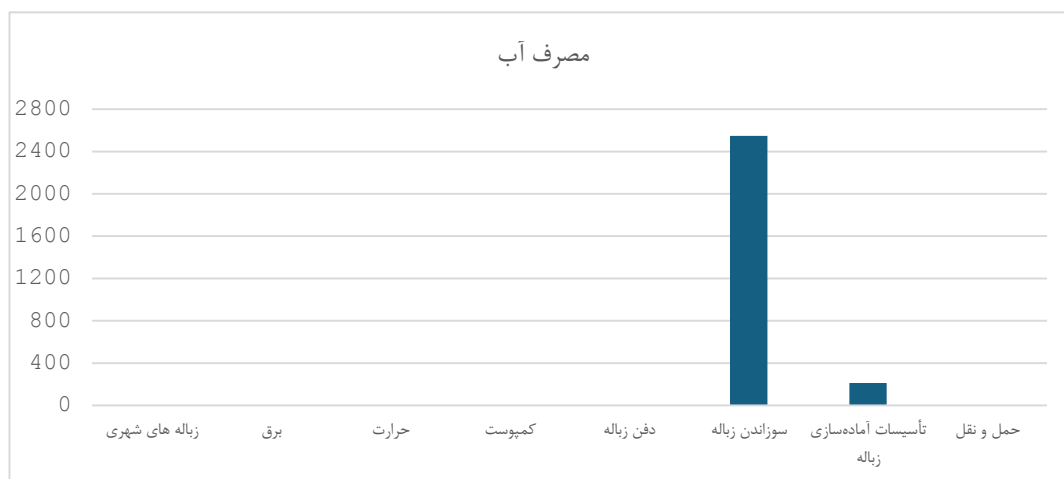
از دیگر شاخص‌های مهم در این تحلیل، تشکیل ذرات معلق ریز ($\text{PM}_{2.5}$) است که به‌ویژه از منابع صنعتی، از جمله سوزاندن زباله‌ها و حمل‌ونقل ناشی می‌شود. این ذرات می‌توانند به‌راحتی وارد ریه‌ها شوند و مشکلات تنفسی جدی به‌ویژه در میان افراد مسن و کودکان ایجاد کنند. تأسیسات آماده‌سازی زباله در مجموع تولید $93/01$ کیلوگرم معادل $\text{PM}_{2.5}$ می‌کنند که این مقدار برای سلامت عمومی خطرناک است. به منظور کاهش این اثرات منفی، باید به دنبال روش‌های پاک‌تر برای مدیریت زباله‌ها و کاهش آلاینده‌های معلق در هوا باشیم.

اسیدی شدن زمین که عمدتاً ناشی از انتشار سولفور دی‌اکسید در فرایندهای صنعتی است، یکی دیگر از اثرات زیست‌محیطی مهم است. این ترکیب می‌تواند خاک‌ها و منابع آبی را آلوده کند و بر کشاورزی و اکوسیستم‌های طبیعی تأثیر منفی بگذارد. در

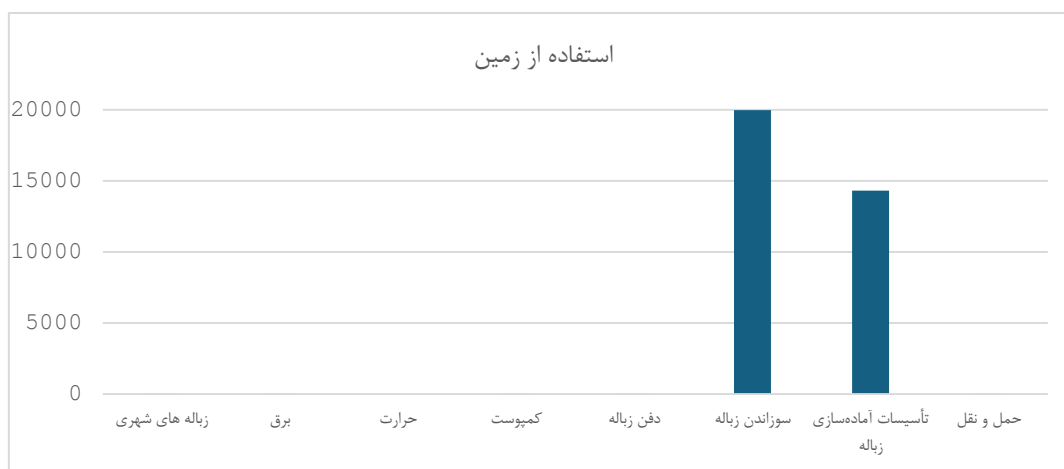
این تحلیل، تأسیسات آماده‌سازی زباله در مجموع ۲۳۱/۶۵ کیلوگرم معادل سولفور دی‌اکسید تولید می‌کنند که این مقدار نشان‌دهنده فشار زیادی روی محیط زیست و منابع طبیعی است. کاهش انتشار سولفور دی‌اکسید از طریق استفاده از سوخت‌های پاک‌تر و بهینه‌سازی فرایندها می‌تواند به کاهش اسیدی شدن زمین و بهبود شرایط محیط زیست کمک کند.

در بخش دیگری از تحلیل، کمیابی منابع معدنی و فسیلی نیز بررسی شده است. برای مثال، کمیابی مس و نفت به طور قابل توجهی تحت تأثیر فرایندهای صنعتی قرار دارد. فرایندهایی مانند حمل‌ونقل و آماده‌سازی زباله‌ها نیازمند مصرف زیادی از این منابع هستند. به‌ویژه، در تأسیسات آماده‌سازی زباله، ۴۲۶۰۱/۳۹۷ کیلوگرم معادل نفت مصرف می‌شود که تأثیرات طولانی‌مدتی روی منابع فسیلی و تغییرات اقلیمی خواهد داشت. برای کاهش این تأثیرات، استفاده از منابع تجدیدپذیر و توسعه فناوری‌های پایدار در فرایندهای صنعتی لازم است.

مصرف آب (شکل ۵) و استفاده از زمین (شکل ۶) نیز دو عامل مهم دیگر در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی هستند. مصرف زیاد آب در فرایندهای صنعتی مانند آماده‌سازی زباله‌ها، که به طور میانگین ۲۵۴۷/۹۹ مترمکعب آب را مصرف می‌کنند، می‌تواند منابع آبی را به شدت تحت فشار قرار دهد. همچنین، استفاده از زمین به میزان ۱۹۹۷۳/۹۱ معادل متر مربع زمین کشاورزی نیز نشان‌دهنده تأثیر زیاد این فرایندها بر منابع طبیعی است. بهینه‌سازی مصرف آب و زمین از طریق استفاده مؤثرتر از این منابع و استفاده از فناوری‌های نوین برای کاهش مصرف آن‌ها می‌تواند به حفظ منابع طبیعی کمک کند.



شکل ۵. سهم هر فرآیند مدیریت پسماند در مصرف آب

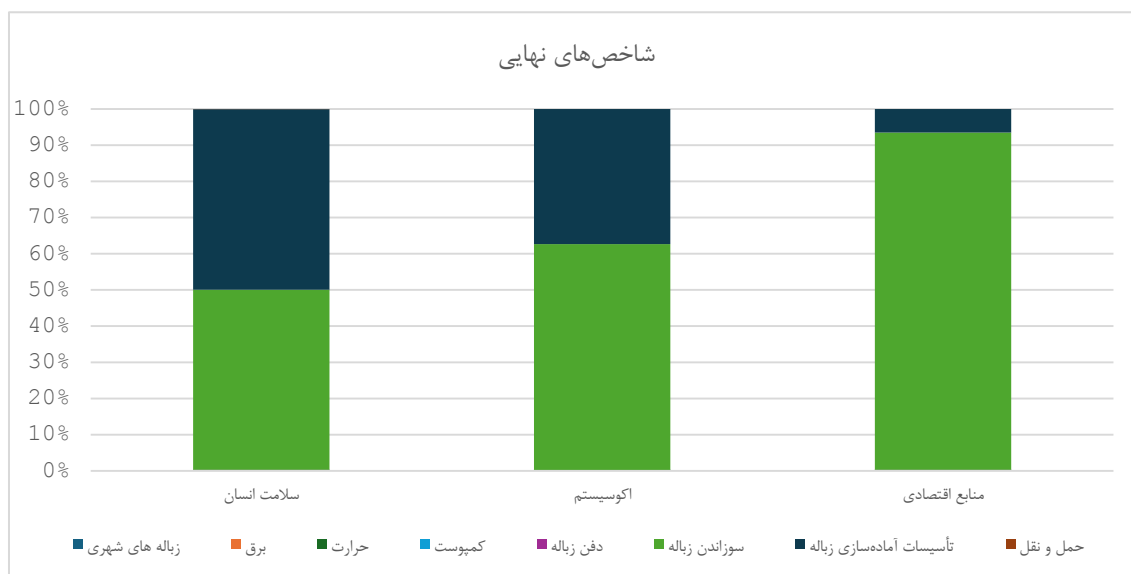


شکل ۶. سهم هر فرآیند مدیریت پسماند در استفاده از زمین

در نهایت، به منظور کاهش اثرات زیست‌محیطی این فرایندها، باید به بهینه‌سازی مصرف منابع و استفاده از فناوری‌های پاک و تجدیدپذیر توجه ویژه‌ای داشت. این کار نه تنها به کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و حفظ منابع طبیعی کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به بهبود کیفیت زندگی و سلامت عمومی نیز منجر شود.

۴-۲. شاخص‌های نهایی

نتایج نهایی نشان‌دهنده تأثیرات زیست‌محیطی فعالیت‌های مختلف بر شاخص‌های سلامت انسان، اکوسیستم‌ها و منابع است که در شکل ۷ می‌توان سهم هر بخش در هریک از این تأثیرات محیط زیستی را مشاهده کرد.



شکل ۷. نمودار نتایج ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی در سطح نهایی برای فرایندهای مختلف

در بخش سلامت انسان، شاخص DALY^۱ معادل ۰/۲۴ سال است. از این مقدار، بیشترین سهم به زباله‌های شهری ۰/۱۲ سال و حمل‌ونقل ۰/۱۲ سال اختصاص دارد. این موضوع نشان‌دهنده آن است که این دو فعالیت بیشترین تأثیر منفی را بر سلامت انسان دارند. زباله‌های شهری و حمل‌ونقل به طور مستقیم یا غیرمستقیم از طریق آلودگی هوا، انتشار گازهای آلاینده و اثرات زیست‌محیطی که موجب مشکلات تنفسی، قلبی و بیماری‌های دیگر می‌شوند، به سلامت انسان آسیب می‌زنند. سایر فعالیت‌ها مانند برق، حرارت و کمپوست تأثیرات به مراتب کمتری دارند، که این می‌تواند نشان‌دهنده اثرات مثبت یا کمتر آلاینده‌ای این بخش‌ها در مقایسه با زباله‌ها و حمل‌ونقل باشد.

در شاخص اکوسیستم‌ها، میزان اثر معادل ۰/۰۰۰۶۸ گونه در سال است. در این بخش، بیشترین تأثیرات منفی به زباله‌های شهری و حمل‌ونقل مربوط می‌شود که به ترتیب مقادیر ۰/۰۰۰۴۳ و ۰/۰۰۰۲۶ گونه در سال را به خود اختصاص داده‌اند که نشان می‌دهد این دو بخش بیشترین آسیب را به تنوع زیستی وارد می‌کنند. دفن زباله، سوزاندن زباله و سایر فعالیت‌ها به دلیل تأثیرات محدودتر در تغییرات زیست‌محیطی و اکوسیستم‌ها، اثرات کمتری دارند. به‌ویژه فعالیت‌هایی که موجب تخریب زیستگاه‌ها و آلودگی خاک و آب می‌شوند، از جمله دفن زباله، می‌توانند به طور مستقیم بر اکوسیستم‌ها تأثیر منفی بگذارند. این بخش نیازمند توجه بیشتر در راستای کاهش اثرات منفی و اجرای برنامه‌های بازیابی و مدیریت صحیح زباله‌ها است.

در بخش منابع اقتصادی، که تأثیرات زیست‌محیطی به صورت هزینه‌های اقتصادی سنجیده می‌شود، نتیجه کلی برابر با ۱۹۸۲۱/۶۹۵ دلار است. بخش زباله‌های شهری بیشترین سهم را در هزینه‌های منابع با ۳/۵۷۶ دلار دارد که نشان می‌دهد مدیریت نادرست زباله‌ها و هزینه‌های ناشی از بازیافت، دفن و سوزاندن آن‌ها تأثیر زیادی بر هزینه‌های اقتصادی دارد. حمل‌ونقل

۱. سال معادل از دست‌رفته عمر

نیز با ۱۲۸۲/۹۵ دلار سهم عمده‌ای از هزینه‌ها را به خود اختصاص داده است، که نشان‌دهنده هزینه‌های بالای انرژی، سوخت و زیرساخت‌های مربوط به حمل و نقل است. سایر بخش‌ها مانند برق، کمپوست و دفن زباله اثرات اقتصادی کمتری دارند، اما این مقادیر نشان می‌دهند بخش‌های انرژی و مدیریت زباله همچنان تأثیرات اقتصادی زیادی دارند.

تحلیل کلی نشان می‌دهد زباله‌های شهری و حمل‌ونقل بیشترین تأثیرات منفی را در سه شاخص زیست‌محیطی، سلامت انسان و منابع دارند. این دو بخش نه تنها اثرات مستقیمی بر آلودگی هوا و سلامت انسان دارند، بلکه تأثیرات آن‌ها بر اکوسیستم‌ها و منابع اقتصادی نیز قابل توجه است. بنابراین، باید تمرکز ویژه‌ای روی کاهش آلودگی ناشی از این دو بخش در سیاست‌ها و برنامه‌های مدیریتی زیست‌محیطی انجام شود. در مقابل، سایر بخش‌ها مانند برق، کمپوست و سوزاندن زباله، تأثیرات کمتری دارند و می‌توان با بهبود مدیریت این بخش‌ها، اثرات منفی آن‌ها را کاهش داد. این تحلیل می‌تواند به عنوان مبنای تصمیم‌گیری برای کاهش اثرات منفی فعالیت‌های مختلف بر محیط‌زیست و سلامت انسان استفاده شود.

۵. نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با بهره‌گیری از روش ارزیابی چرخه حیات و به‌کارگیری نرم‌افزار SimaPro، تصویری دقیق و داده‌محور از اثرات زیست‌محیطی فرایندهای مختلف مدیریت پسماند شهری در تهران ارائه می‌دهد. نتایج نشان دادند فرایند دفن پسماند، هم در شاخص‌های میانی مانند گرمایش جهانی، اسیدی شدن، سمیت انسانی، و هم در شاخص‌های نهایی مانند آسیب به سلامت انسان و اکوسیستم، سهم چشمگیری در ایجاد پیامدهای منفی زیست‌محیطی دارد. از سوی دیگر، بازیافت، کمپوست، و به‌ویژه فرایند هضم بی‌هوازی، به عنوان گزینه‌هایی پایدارتر شناخته شدند که می‌توانند در کاهش بار زیست‌محیطی نقش مؤثری ایفا کنند. یافته‌های این مطالعه همچنین نشان می‌دهند بخش قابل توجهی از اثرات زیست‌محیطی به مرحله حمل‌ونقل پسماند مرتبط است، که این مسئله لزوم بهینه‌سازی مسیرها، استفاده از وسایل نقلیه کم‌مصرف‌تر و بررسی امکان استفاده از سوخت‌های تجدیدپذیر را مطرح می‌سازد. علاوه بر این، طراحی سیستم‌های تفکیک در مبدأ، آموزش عمومی برای افزایش مشارکت شهروندان، و ارتقای فناوری‌های پردازش پسماند، از جمله رویکردهایی هستند که می‌توانند به کاهش چشمگیر در بار زیست‌محیطی سیستم مدیریت پسماند منجر شوند. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که بازنگری در ساختار موجود مدیریت پسماند، با رویکردی سیستماتیک، تلفیق فناوری‌های نوین، و بهره‌گیری از نتایج تحلیل ارزیابی چرخه حیات می‌تواند زمینه‌ساز برنامه‌ریزی جامع‌تر، سیاست‌گذاری واقع‌گرایانه‌تر و دستیابی به توسعه پایدار در حوزه پسماند شهری باشد. این پژوهش نه تنها مبنایی علمی برای اتخاذ تصمیم‌های آگاهانه در سطوح محلی و ملی فراهم می‌آورد، بلکه به عنوان یک مدل قابل تعمیم، قابلیت کاربرد در سایر کلان‌شهرهای کشور و حتی منطقه را نیز دارد.

منابع

1. M. Ghanbarzadeh Lak, M. Ghaffariraad, and H. Jahangirzadeh Soureh, "Characteristics and Impacts of Municipal Solid Waste (MSW)," in *Technical Landfills and Waste Management: Volume 1: Landfill Impacts, Characterization and Valorisation*: Springer, 2024 ,pp. 31-92.
2. T. Karak, R. Bhagat, and P. Bhattacharyya, "Municipal solid waste generation, composition, and management: the world scenario," *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 42, no. 15, pp. 1509-1630, 2012.
3. B. Ridgway "Environmental management system provides tools for delivering on environmental impact assessment commitments," *Impact Assessment and Project Appraisal*, vol. 23, no. 4, pp. 325-331, 2005.
4. H. Wang and Y. Nie, "Remedial strategies for municipal solid waste management in China," *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 51, no. 2, pp. 264-272, 2001.
5. H. Salaripoor, H. Yousefi, and M. Abdoos, "Life cycle environmental assessment of Refuse-Derived Fuel (RDF) as an alternative to fossil fuels in cement production: A sustainable approach for mitigating carbon emissions," *Fuel Communications*, vol. 22, p. 100135, 2025.
6. Y. Zhao, T. H. Christensen, W. Lu, H. Wu, and H. Wang, "Environmental impact assessment of solid waste management in Beijing City, China," *Waste management*, vol. 31, no. 4, pp. 793-799, 2011.
7. T. E. Butt, E. Lockley, and K. O. Oduyemi, "Risk assessment of landfill disposal sites–State of the art," *Waste Management*, vol. 28, no. 6, pp. 952-964, 2008.
8. L. M. G. Coelho and L. C. Lange, "Applying life cycle assessment to support environmentally sustainable waste management strategies in Brazil," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 128, pp. 438-450, 2018.
9. M. Abdoos, A. Hajinezhad, H. Yousefi, and R. Fattahi "Technical, economic, and environmental evaluation and optimization of wastewater, food, and energy usage-A case study of the veramin plain," *Results in Engineering*, vol. 26, p. 104845, 2025.
10. W. L. Baschera and I. S. Hahn, "Can sustainable urban planning determine people's happiness and well-being?," *Revista de Administração da UFSM*, vol. 15, no. spe, pp. 781-796, 2022.
11. X. Zeng, Y. Yu, S. Yang, Y. Lv, and M. N. I. Sarker, "Urban resilience for urban sustainability: Concepts, dimensions, and perspectives," *Sustainability*, vol. 14, no. 5, p. 2481, 2022.
12. A. Mesjasz-Lech, "Municipal waste management in context of sustainable urban development," *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 151, pp. 244-256, 2014.
13. O. Salau, S. Osho, L. Sen ,G. Osho, and M. Salau, "Urban Sustainability and the Economic Impact of Implementing a Structured Waste Management System: A Comparative Analysis of Municipal Waste Management Practices Developing Countries," *waste management*, vol. 4, no. 1, 2017.
14. F .Teixeira Dias, A. R. de Aguiar Dutra, A. L. Vieira Cubas, M. F. Ferreira Henckmaier, M. Courval, and J. B. S. O. de Andrade Guerra, "Sustainable development with environmental, social and governance: Strategies for urban sustainability," *Sustainable Development*, vol. 31, no. 1, pp. 528-539, 2023.
15. W. H. Organization, "Waste and human health: evidence and needs: WHO meeting report 5–6 November 2015: Bonn, Germany," World Health Organization. Regional Office for Europe, 2015 .
16. M. G. Lak, M. J. Gheybi, and S. Chehrehgani, "Application of the modified RIAM method in assessing the environmental impact of municipal solid waste management scenarios (A case study)," *Heliyon*, 2025.
17. J.-M. Fernández-Gonzalez, A. L. Grindlay, F. Serrano-Bernardo, M. I .Rodríguez-Rojas, and M. Zamorano, "Economic and environmental review of Waste-to-Energy systems for municipal solid waste management in medium and small municipalities," *Waste Management*, vol. 67, pp. 360-374, 2017.
18. Y. Liu, W. Sun, and J. Liu, "Greenhouse gas emissions from different municipal solid waste management scenarios in China: Based on carbon and energy flow analysis," *Waste management*, vol. 68, pp. 653-661, 2017.

19. A. C. M. Angelo, A. B. Saraiva, J. C. N. Clímaco, C. E. Infante, and R. Valle, "Life Cycle Assessment and Multi-criteria Decision Analysis: Selection of a strategy for domestic food waste management in Rio de Janeiro," *Journal of cleaner production*, vol. 143, pp. 744-756, 2017.
20. Q. Yu and H. Li, "Moderate separation of household kitchen waste towards global optimization of municipal solid waste management," *Journal of cleaner production*, vol. 277, p. 123330, 2020.
21. N. Yang *et al.*, "Environmental and economic life-cycle assessments of household food waste management systems: a comparative review of methodology and research progress," *Sustainability*, vol. 14, no. 13, p. 7533, 2022.
22. H. K. Jeswani and A. Azapagic, "Assessing the environmental sustainability of energy recovery from municipal solid waste in the UK," *Waste Management*, vol. 50, pp. 346-363, 2016.
23. C. Tagliaferri, S. Evangelisti, R. Clift, and P. Lettieri, "Life cycle assessment of a biomass CHP plant in UK: The Heathrow energy centre case," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 133, pp. 210-221, 2018.
24. L. Rigamonti, G. Borghi, G. Martignon, and M. Grosso, "Life cycle costing of energy recovery from solid recovered fuel produced in MBT plants in Italy," *Waste Management*, vol. 99, pp. 154-162, 2019.
25. K. S. Ng *et al.*, "A multilevel sustainability analysis of zinc recovery from wastes," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 113, pp. 88-105, 2016.
26. Z. Zhou, Y. Chi, J. Dong, Y. Tang, and M. Ni, "Model development of sustainability assessment from a life cycle perspective: A case study on waste management systems in China," *Journal of cleaner production*, vol. 210, pp. 1005-1014, 2019.
27. J. Zhang, Q. Qin, G. Li, and C.-H. Tseng, "Sustainable municipal waste management strategies through life cycle assessment method: A review," *Journal of Environmental Management*, vol. 287, p. 112238, 2021.
28. C. Berardocco, H. Delawter, T. Putzu, L. C. Wolfe, and H. Zhang, "Life cycle sustainability assessment of single stream and multi-stream waste recycling systems," *Sustainability*, vol. 14, no. 24, p. 16747, 2022.
29. A. B. Saraiva, R. Souza, and R. Valle, "Comparative lifecycle assessment of alternatives for waste management in Rio de Janeiro—Investigating the influence of an attributional or consequential approach," *Waste Management*, vol. 118, pp. 701-710, 2017.
30. V. Bisinella, R. Götze, K. Conradsen, A. Damgaard, T. H. Christensen, and T. F. Astrup, "Importance of waste composition for Life Cycle Assessment of waste management solutions," *Journal of Cleaner Production*, vol. 164, pp. 1180-1191, 2017.
31. F. Fei, Z. Wen, S. Huang, and D. De Clercq, "Mechanical biological treatment of municipal solid waste: Energy efficiency, environmental impact and economic feasibility analysis," *Journal of Cleaner Production*, vol. 178, pp. 731-739, 2018.
32. M. J. Amiri and M. Asadbeigi, "Life Cycle Assessment of Construction and Demolition Waste Management in Tehran, Iran," *Environmental Energy and Economic Research*, vol. 8, no. 1, pp. 1-12, 2024.
33. N. Jamialahmadi, M. Hashemi, and M. Jalili Ghazizade, "Assessment of the current municipal solid waste management system in Tehran, Iran: challenges and opportunities for sustainable development," *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol. 24, no. 5, pp. 2054-2067, 2022.
34. M. Ahani, R. Arjmandi, H. Hoveidi, J. Ghodousi, and M. Miri Lavasani, "A multi-objective optimization model for municipal waste management system in Tehran city, Iran," *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 16, pp. 5447-5462, 2019.
35. E. Pishgar, Z. Fanni, J. Tavakkolinia, A. Mohammadi, B. Kiani, and R. Bergquist, "Mortality rates due to respiratory tract diseases in Tehran, Iran during 2008–2018: a spatiotemporal, cross-sectional study," *BMC Public Health*, vol. 20, pp. 1-12, 2020.
36. S. Shaked, P. Crettaz, M. Saade-Sbeih, O. Jolliet, and A. Jolliet, *Environmental life cycle assessment*. CRC Press, 2015.
37. J. Whittle, K. Callander, M. Akure, F. Kachwala, and S. Koh, "A new high-level life cycle assessment framework for evaluating environmental performance: An aviation case study," *Journal of Cleaner Production*, vol. 471, p. 143440, 2024.

38. M. Oele and R. Dolfing, "SimaPro 9.1. 1| Full Update Instructions," ed: PRé Sustainability, BV: Amersfoort, The Netherlands, 2020.
39. Z. Ahmadi, "Investigating the amount of waste and waste production in Tehran metropolis and the amount of recycling from them," *Paya Shahr Specialized Scientific Monthly*, 2022. [Online]. Available: <https://civilica.com/doc/1524410>.
40. H. Online, "Aradkuh is being turned upside down," ed.
41. H. Karimian, M. Saadati, and A. Bagheri, "Comparison of the characteristics of municipal waste compost from the Ardkoh Disposal and Processing Complex with the national compost standard (Standard 10716) [In Persian]," presented at the The Second National Green Waste Management Conference, Ardebil, 2022. [Online]. Available: <https://civilica.com/doc/1548133>.



Nanomaterials in Zero Energy Buildings: A Comprehensive Review of Achievements, Policy Making, and Urban Perspectives

Ali Yousefi Roshan¹ | Mahdi Gandomzadeh² | Yazdan Alviri³ | Aslan Gholami⁴ |
Majid Zandi^{5*}

1. PhD Student, Department of Renewable Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: a_yousefiroshan@sbu.ac.ir
2. PhD Student, Department of Renewable Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: m_gandomzadeh@sbu.ac.ir
3. PhD Student, Department of Mechanical Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: a_alvari@sbu.ac.ir
4. Assistant Professor, Department of Renewable Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: a_gholami@sbu.ac.ir
5. Corresponding Author, Associate Professor, Department of Renewable Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: m_zandi@sbu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 01 April 2025
Revised 01 May 2025
Accepted 01 June 2025
Published Online 11 September 2025

Keywords:
Energy,
Smart glass,
Zero energy building,
Phase change materials,
Nanomaterials.

ABSTRACT

Buildings contribute to 40% of the world's energy consumption and 30% of greenhouse gas emissions. Zero-energy buildings are used to reduce energy consumption, fossil fuel consumption and environmental impacts. In this analytical study, data was extracted from reliable databases and sources. 28,090 patents were filed between 1995 and 2024 in the field of nanotechnology applications in zero-energy buildings, with the United States, Europe, China and India leading the way in this field. The study aims to determine the effectiveness of nanotechnology in zero-energy buildings and environmental impacts. Nanomaterials in smart windows are used to regulate light levels, self-cleaning, hydrophobicity and energy consumption. Smart windows reduce cooling energy consumption by 36.9% and lighting energy consumption by 54.5%. Nanomaterials and phase-change materials contribute to thermal comfort by storing and releasing heat in building components during the day. Nanomaterials in building materials lead to a 40% increase in strength, a 35% increase in useful life, and a 20% decrease in energy consumption in the construction process, and these materials harm human health by entering the food chain and becoming toxic. Green synthesis, environmentally friendly nanoparticles, and recycling of nanomaterials play a role in reducing environmental impacts. Green nanoparticle synthesis effectively reduces energy consumption by 30%, production costs by 40%, and production efficiency by 50%. Municipalities, the government, industry, and universities contribute to sustainable urban development and confronting the energy and climate crisis in Iran through financial incentives, the development of laws and standards, and the establishment of nanotechnology observatories in construction projects.

Cite this article: Yousefi Roshan, A.; Gandomzadeh, M.; Alviri, Y.; Gholami, A. & Zandi, M. (2026). Nanomaterials in Zero Energy Buildings: A Comprehensive Review of Achievements, Policy Making, and Urban Perspectives. *Urban Development Policy Making*, 2 (4), 423-444. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.521744.1041>



© Ali Yousefi Roshan, Mahdi Gandomzadeh, Yazdan Alviri, Aslan Gholami, Majid Zandi
DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.521744.1041>

1. Introduction

Buildings account for forty percent of the world's energy consumption. International agreements, coronavirus, population growth, and increasing urbanization have increased the need for zero-energy buildings. In Iran, population growth and increasing electricity demand have increased the need for zero-energy buildings. Nanomaterials have an impact on increasing energy efficiency and reducing costs. In different decades, many advances have been made in the field of nanoscience in zero-energy buildings. Environmental challenges of nanomaterials, toxicity, and soil pollution require green synthesis methods and global monitoring. This article examines the application of nanomaterials in zero-energy buildings, technology trends, environmental impacts, and the importance of sustainable development.

2. Methodology

This study has examined the application of nano in zero-energy buildings using an analytical and review method from scientific databases such as Scopus and Google Scholar. Analysis of the patenting trends of leading countries in the field of nanomaterials and zero-energy buildings from 1995 to 2024 was reviewed by Lenz. Analysis of the trends of articles and leading countries in the field of nanomaterials and zero-energy buildings from 2013 to 2024 was reviewed by Scopus. In the study of nanomaterials in zero-energy buildings, the keywords "role", "nanomaterials", "zero-energy building", "smart window" and "energy optimization in buildings" were examined in databases such as Google Scholar and ScienceDirect. Scientific studies and environmental assessment models have been used to examine the effects of nanomaterials on the environment and human health. In this study, the environmental impacts of nanomaterials were extracted from the scientific databases Scopus, Google Scholar, and ScienceDirect using the keywords "nanomaterials", "nanoparticle toxicity", and "green synthesis".

3. Result and Discussion

Nanotechnology, using smart glass, phase change materials, and nanomaterials, plays a key role in optimizing the energy consumption of zero-energy buildings. Smart windows based on nanomaterials lead to improved thermal insulation, reduced energy consumption, and light regulation. Phase change materials reduce the need for heating and ventilation systems by integrating nanomaterials. Nanoparticles contribute to the sustainability of buildings with applications such as self-cleaning and increasing the durability of materials. Nanoparticles are also effective in absorbing CO₂. Along with the benefits, nanomaterials have adverse effects on human health and the environment. Green synthesis, recycling of nanomaterials, and environmentally friendly nanomaterials are essential to address the environmental impacts of nanomaterials.

4. Conclusion

Population growth, energy crisis, and climate change have increased the need for zero-energy buildings. Nanomaterials in smart windows lead to light, heat control, UV protection, and self-cleaning. Nanomaterials in buildings have an impact on increasing durability, reducing repair and maintenance costs, and increasing lifespan and strength. Along with the benefits, there are environmental challenges of nanomaterials such as toxicity, entering the food chain, and negative effects on human health. Green synthesis, recycling of nanomaterials, and production of biodegradable nanoparticles are essential in addressing this challenge. Interdisciplinary research, the establishment of regulatory laws, and public and private investment are the keys to success in this field. The use of nanomaterials with a sustainable approach makes it possible to build low-energy buildings, maintain the health of society, and protect the environment at the same time.



نانومواد در ساختمان‌های انرژی‌صفر: مروری جامع بر دستاوردها، سیاست‌گذاری‌ها و آینده‌نگری‌های شهری

علی یوسفی روشن^۱ | مهدی گندم‌زاده^۲ | یزدان الواری^۳ | اصلان غلامی^۴ | مجید زندی^{۵*}

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: a_yousefiroshan@sbu.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: m_gandomzadeh@sbu.ac.ir

۳. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: y_alvari@sbu.ac.ir

۴. استادیار، گروه مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: a_gholami@sbu.ac.ir

۵. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: m_zandi@sbu.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰

کلیدواژه:

انرژی،

شیشه هوشمند،

ساختمان انرژی‌صفر،

مواد تغییرفازدهنده،

نانومواد.

ساختمان‌ها در ۴۰ درصد مصرف انرژی جهان و ۳۰ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای نقش دارند. ساختمان‌های انرژی‌صفر در کاهش مصرف انرژی، مصرف سوخت‌های فسیلی و اثرهای زیست‌محیطی کاربرد دارند. در این پژوهش تحلیلی، داده‌ها از پایگاه‌ها و منابع معتبر استخراج شده است. ۲۸۰۹۰ ثبت اختراع طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۴ میلادی در حوزه کاربرد نانو در ساختمان‌های انرژی‌صفر انجام شده و آمریکا، اروپا، چین و هند در این حوزه پیش‌تاز هستند. هدف پژوهش پیش‌رو، کارایی فناوری نانو بر ساختمان‌های انرژی‌صفر و اثرهای زیست‌محیطی است. نانومواد در پنجره‌های هوشمند در تنظیم میزان نور، خودتمیزشوندگی، آب‌گریزی و مصرف انرژی کاربرد دارند. پنجره‌های هوشمند به کاهش ۳۶/۹ درصدی مصرف انرژی خنک‌کننده و ۵۴/۵ درصدی مصرف انرژی روشنایی ساختمان‌ها منجر می‌شوند. نانومواد و مواد تغییرفازدهنده طی روز در اجزای ساختمان با ذخیره‌سازی و آزادسازی حرارت به آسایش حرارتی کمک می‌کنند. نانومواد در مصالح ساختمانی به افزایش ۴۰ درصدی استحکام، ۳۵ درصدی عمر مفید و کاهش ۲۰ درصدی مصرف انرژی در فرایند ساخت منجر می‌شود و این مواد با ورود به زنجیره غذایی و سمیت به سلامتی انسان آسیب می‌زنند. سنتز سبز، نانوذرات سازگار با محیط زیست و بازیافت نانومواد در کاهش اثرهای محیط زیست نقش ایفا می‌کند. سنتز سبز نانوذرات در کاهش ۳۰ درصد مصرف انرژی، ۴۰ درصد هزینه تولیدی و افزایش ۵۰ درصدی بازده تولید تأثیرگذار است. شهرداری‌ها، دولت، صنعت و دانشگاه با مشوق‌های مالی، تدوین قوانین و استانداردها و ایجاد رصدخانه‌های فناوری نانو در پروژه‌های ساختمانی به توسعه پایدار شهری و مقابله با بحران انرژی و اقلیم در ایران منجر می‌شوند.

استناد: یوسفی روشن، علی؛ گندم‌زاده، مهدی؛ الواری، یزدان؛ غلامی، اصلان و زندی، مجید (۱۴۰۴). نانومواد در ساختمان‌های انرژی‌صفر: مروری جامع بر دستاوردها، سیاست‌گذاری‌ها و آینده‌نگری‌های شهری. *سیاست‌گذاری پیشرفت شهری*، ۲ (۴) ۴۲۳-۴۴۴.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.521744.1041>

© علی یوسفی روشن، مهدی گندم‌زاده، یزدان الواری، اصلان غلامی، مجید زندی

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.521744.1041>



۱. مقدمه

انرژی موتور محرک زندگی مدرن است و نقش اساسی در توسعه اقتصادی و رفاه اجتماعی دارد. با افزایش تقاضا و نگرانی‌های زیست‌محیطی، بهره‌وری انرژی و استفاده از منابع تجدیدپذیر اهمیت بیشتری یافته‌اند [۱ و ۲]. در این راستا، ساختمان‌های انرژی‌صرف به عنوان راهکاری پایدار مطرح شده‌اند که با تولید انرژی مورد نیاز خود از منابع تجدیدپذیر، وابستگی به شبکه برق را کاهش می‌دهند [۳]. مصرف انرژی در ساختمان‌ها حدود ۴۰ درصد از مصرف کل انرژی جهان را تشکیل می‌دهد و ساختمان عامل ۳۰ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح جهان است [۴]. ۳۳/۸ درصد از مصرف انرژی کشور ایران در حوزه ساختمان است. ساختمان‌های آموزشی در ایران ۲/۵ برابر بیشتر از ساختمان‌های کشورهای توسعه‌یافته انرژی مصرف می‌کنند [۵]. سهام جهانی ساختمان‌ها تا سال ۲۰۷۰ میلادی ۲/۲ برابر اقتصادهای درحال توسعه رشد می‌کند و ساختمان‌های انرژی‌صرف یک استراتژی کلیدی در حوزه ساختمان‌ها است [۶]. توافق‌های جهانی محرکی برای حرکت جامعه جهانی به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر و ساختمان‌های انرژی‌صرف است [۷ و ۸]. پروتکل کیوتو در ۱۹۹۷ میلادی و توافق‌نامه پاریس در ۲۰۱۵ میلادی تمرکز بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را افزایش دادند. همه‌گیری کرونا نیز در دهه ۲۰۲۰ میلادی با افزایش مصرف برق خانگی توجه به ساختمان‌های انرژی‌صرف را افزایش داد [۹ - ۱۱]. بر اساس پیش‌بینی‌های سازمان‌های معتبر بین‌المللی، جمعیت ایران تا سال ۲۰۳۰ میلادی به حدود ۹۰ میلیون نفر خواهد رسید و این روند افزایشی تا سال ۲۰۵۰ میلادی به حدود ۱۰۰ میلیون نفر ادامه خواهد یافت [۱۲]. مصرف برق ایران از سال ۲۰۱۰ میلادی سالانه ۴ درصد رشد کرده و در سال ۲۰۲۳ میلادی به ۳۰۲ تراوات ساعت رسیده است. ۹۹/۵ درصد جمعیت کشور ایران به برق دسترسی دارند [۱۳]. بخش صنعتی با ۳۴ درصد، بخش مسکونی با ۳۲ درصد، بخش کشاورزی با ۱۴ درصد، بخش عمومی ۹ درصد، بخش‌های دیگر ۷ درصد و روشنایی جاده ۲ درصد بیشترین سهم مصرف برق را به خود اختصاص داده‌اند [۱۴ - ۱۶]. رشد جمعیت و توسعه شهری، مصرف انرژی در روشنایی، گرمایش، سرمایش و تجهیزات الکترونیکی را افزایش می‌دهد. با افزایش تقاضای انرژی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر [۱۷ و ۱۸] و ساختمان‌های انرژی‌صرف اهمیت پیدا می‌کند. در ساختمان‌های انرژی‌صرف، نانومواد به عنوان راه‌حلی نوآورانه مطرح می‌شود که به کاهش مصرف انرژی، هزینه‌های انرژی و اثرهای زیست‌محیطی می‌انجامد [۱۹]. همچنین، این مواد با افزایش دوام و کاهش نیاز به تعمیر و نگهداری، نقش کلیدی در توسعه پایدار شهری و امنیت انرژی ایفا می‌کند [۲۰].

نانوتکنولوژی و مواد تغییرفازدهنده با استفاده از عایق‌های پیشرفته و پوشش‌های خاص، در ساختمان‌های انرژی‌صرف باعث بهبود کارایی و کاهش مصرف انرژی می‌شود و می‌تواند به توسعه شهرهای آینده و بهبود زندگی نسل‌های بعدی کمک کند. استفاده از نانومواد در بتن، دیوار و سرامیک به بهینه‌سازی مصرف انرژی، ارتقای ویژگی‌های مصالح، افزایش مقاومت مصالح و دوام سازه‌ها منجر می‌شود. ترکیب نانوذرات و مواد تغییرفازدهنده به ذخیره‌سازی حرارت و آزادسازی حرارت در پیک گرما و سرما منجر می‌شود [۲۱ و ۲۲]. استفاده از نانومواد در مدرسه موجب کاهش چشمگیر مصرف انرژی در دیوارهای خارجی با ۹/۳۹ درصد، پنجره‌ها با ۱۲/۱۵ درصد، سقف با ۴/۴۰ درصد و کف با ۱/۶۴ درصد می‌شود. این بهبود نه تنها به حفظ منابع انرژی کمک می‌کند، بلکه آسایش حرارتی ساکنان را نیز به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد [۲۳]. همچنین، شیشه‌های اصلاح‌شده با فناوری نانو، با کاهش قابل توجه انتقال حرارت ناشی از تابش خورشید، بازده انرژی را تا ۷۵ درصد بهبود می‌بخشند و بار سیستم‌های گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع را بیش از ۲۰ درصد کاهش می‌دهند. استفاده از شیشه هوشمند آغشته به نانومواد نقش کلیدی در کاهش مصرف انرژی دارد [۲۴]. پنجره‌های هوشمند آغشته به نانومواد در کاهش مصرف انرژی و افزایش آسایش انسان نقش مهمی دارند. این پنجره‌ها شامل انواع الکتروکرومیک، ترموکرومیک، فوتوکرومیک، کریستال مایع و ذرات معلق هستند [۲۵]. نانومواد مختلف اثرهای زیست‌محیطی مختلفی مانند آلودگی خاک، زنجیره غذایی، مشکل‌های تنفسی و سمی دارند [۲۶]. روش‌های سنتز سبز، افزایش اندازه نانوذرات و جایگزینی با نانومواد سازگار با محیط زیست اثرهای منفی را کاهش می‌دهند [۲۷].

بررسی روند ثبت اختراع‌ها و مقاله‌های بین‌المللی در حوزه کاربرد نانومواد در ساختمان‌های انرژی‌صرف نشان می‌دهد این فناوری سطح جهانی در حال توسعه است. داده‌های موجود از پایگاه‌های معتبر علمی تعداد کل ثبت اختراع در این حوزه از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۴ معادل ۲۸۰۹۰ مورد بوده که ۲۱۰۴۸ مورد آن به کشورهای پیشرو مانند آمریکا مربوط است. همچنین، تعداد

مقالات علمی سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ نیز روند رو به رشد این حوزه را به خوبی آشکار می‌کند؛ به طوری که چین با ۲۲ مقاله در صدر لیست قرار دارد. این روند نشان‌دهنده اهمیت فزاینده نانومواد در توسعه پایدار شهری و ضرورت تدوین سیاست‌های مناسب برای گسترش عادلانه و پایدار این فناوری در کشورهای در حال توسعه است [۲۸ و ۲۹]. در دهه ۱۹۹۰ میلادی پژوهش‌هایی در مورد بهبود اثر نانولوله‌های کربنی و نانومواد دیگر بر خواص مکانیکی و حرارتی مصالح ساختمانی انجام شد [۳۰]. در دهه ۲۰۰۰ میلادی تحقیق‌هایی بر پنجره‌های هوشمند با فناوری‌های مختلف برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان انجام شد [۳۱]. در دهه ۲۰۱۰ میلادی کاوش‌هایی بر ادغام نانومواد با مواد تغییر فاز دهنده صورت گرفت. همچنین، ادغام این مواد سبب ذخیره‌سازی بیشتر و آزادسازی انرژی حرارتی بیشتر در ساختمان‌ها شد [۳۲]. در دهه ۲۰۲۰ میلادی مطالعه‌هایی بر کاهش اثرهای زیست‌محیطی، سمیت و افزایش پایداری نانومواد در ساختمان‌های انرژی‌صفر صورت گرفت [۳۳]. در مرور تحقیق‌های گذشته، استفاده از نانومواد در بخش‌های مختلف ساختمان و پنجره‌های هوشمند مورد بررسی قرار گرفته است. با این حال، تأثیر نانومواد در کاهش هزینه انرژی و مصرف انرژی، اثرهای زیست‌محیطی و نقش نانوترکیب‌های خاص بر زنجیره غذایی و سلامت انسان به طور دقیق تحلیل نشده است. بنابراین، بررسی این عوامل به توسعه و کاربرد فناوری نانومواد در حوزه ساختمان‌های انرژی‌صفر موجب بهبود عملکرد انرژی ساختمان‌ها و کاهش اثرهای زیست‌محیطی ناشی از مصالح مصرفی می‌شود.

این پژوهش به دلیل پیشرفت توسعه پایدار شهری و کاهش مصرف انرژی اهمیت دارد و شکاف موجود در حوزه کاربرد نانومواد در ساختمان‌های انرژی‌صفر و اثرهای زیست‌محیطی را پر کرده است. این مقاله به ارزیابی کاربرد نانومواد در ساختمان‌های انرژی‌صفر در شیشه‌های هوشمند و بخش‌های مختلف ساختمان می‌پردازد. همچنین، در پژوهش پیش رو چالش‌های زیست‌محیطی مانند اثرهای سمی، سلامتی انسان و ورود به زنجیره غذایی تحلیل می‌شود. راه‌حلی‌هایی مانند سنتز سبز، بازیافت نانومواد و تولید نانومواد سازگار با محیط زیست پیشنهاد می‌شود. این پژوهش در نهایت به بررسی روند ثبت اختراع‌ها و مقاله‌های بین‌المللی در این حوزه می‌پردازد و این اطلاعات مبنایی برای گسترش بیشتر پژوهش‌ها و کاربردهای نانومواد در ساخت ساختمان‌های انرژی‌صفر است.

۲. مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر یک مطالعه تحلیلی - مروری است که با روش‌های ترکیبی کیفی و کمی انجام شده است. داده‌ها از طریق جست‌وجو در پایگاه‌های علمی معتبر و با استفاده از کلیدواژه‌های مرتبط با نانومواد و ساختمان‌های انرژی‌صفر گردآوری شدند. معیارهایی مانند دسترسی به متن کامل، داوری شدن مقاله‌ها و جدید بودن منابع برای انتخاب آن‌ها به کار رفت. داده‌ها به صورت کیفی تحلیل محتوا و به صورت کمی با استفاده از آمار ثبت اختراع‌ها و مقالات مورد تحلیل قرار گرفتند. این رویکرد سیستماتیک از الگوی PRISMA الهام گرفته شده است.

۲-۱. جمع‌آوری داده‌ها

داده‌های مرتبط با کاربرد نانو در ساختمان‌های انرژی‌صفر از پایگاه‌های علمی معتبر شامل Scopus، Google Scholar و ScienceDirect استخراج شده‌اند. برای جست‌وجوی مقاله‌ها و ثبت اختراع‌ها، از کلیدواژه‌های مرتبط با نانومواد، ساختمان‌های انرژی‌صفر، پنجره‌های هوشمند و اثرهای زیست‌محیطی نانومواد استفاده شده است. نانومواد شامل کلیدواژه‌های تیتانیوم دی‌اکسید^۱، وانادیوم دی‌اکسید^۲، اکسید قلع ایندیوم^۳، نانولوله‌های کربنی^۴، نانوالیاف کربنی^۵، نانوالیاف گرافیت^۶، روی اکسید^۷

1. Titanium dioxide
2. Vanadium dioxide
3. Indium tin oxide
4. carbon nanotubes
5. Carbon nanofibers
6. Graphite nanofibers
7. Zinc oxide

سربیم اکسید^۱، سیلیکا^۲، آهن اکسید^۳، مس^۴، قلع اکسید^۵، آلومینیوم اکسید، نانو ذرات خاک رس^۶ و زایکوسیل^۷ است. ساختمان های انرژی صفر شامل کلیدواژه های پنجره های هوشمند^۸، پوشش های نانویی^۹، مواد تغییر فاز دهنده^{۱۰}، بهینه سازی انرژی^{۱۱}، پنجره فتوکرومیک^{۱۲}، پنجره ترموکرومیک^{۱۳}، پنجره الکتروکرومیک^{۱۴}، پنجره گازوکرومیک^{۱۵}، پنجره انتشار پایین^{۱۶}، پنجره کریستال مایع^{۱۷}، پنجره ذرات معلق^{۱۸}، فاز مونوکلینیک^{۱۹} و فاز روتایل^{۲۰} است. اثرهای زیست محیطی شامل کلیدواژه های سمیت نانو ذرات^{۲۱}، سنتز سبز^{۲۲}، بازیافت نانو ذرات^{۲۳} و نانو ذرات زیست سازگار^{۲۴} است.

۲-۲. تحلیل داده ها

داده های جمع آوری شده به صورت کیفی و کمی تحلیل شدند. برای تحلیل روند ثبت اختراع ها و مقاله ها از پایگاه های تحلیلی داده استفاده شد. این تحلیل شامل بررسی تعداد اختراع ها در بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۴ میلادی و مقاله ها در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ میلادی منتشر شده است. همچنین، کشورهای پیشرو در حوزه کاربرد نانو در ساختمان های انرژی صفر تعیین شد. برای تحلیل کاربرد نانومواد در ساختمان های انرژی صفر، از روش تحلیل محتوای کیفی استفاده شد. این تحلیل شامل بررسی فناوری های نانویی در پنجره های هوشمند، دیوارها و سایر بخش های ساختمان بود. در بخش اثرهای زیست محیطی، از مدل های ارزیابی زیست محیطی و مطالعه های موردی برای تحلیل سمیت نانو ذرات و روش های پایدار مانند سنتز سبز و بازیافت نانو ذرات استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

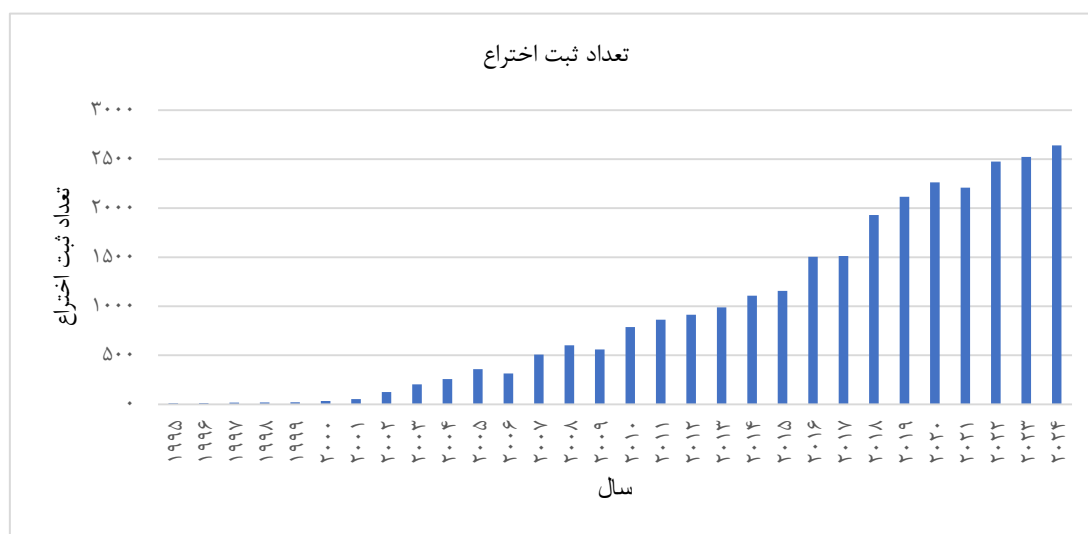
نانومواد در ساختار ساختمان های انرژی صفر و پنجره ها می تواند مصرف انرژی را در ساختمان ها به طور محسوسی کاهش دهد. نانومواد در پنجره های هوشمند امکان تنظیم میزان نور، تنظیم حرارت، جلوگیری از ورود اشعه های مضر، تیرگی یا شفافیت و ذخیره انرژی را فراهم می کند. استفاده از پنجره های هوشمند، نقش مؤثری در کاهش مصرف انرژی و ایجاد نقطه آسایش حرارتی برای ساکنان در ساختمان ایفا می کند. این پنجره ها با افزایش نور عبوری خورشید زمستان و در تابستان با کاهش آن، به کاهش هزینه های انرژی کمک می کنند. همچنین، استفاده از مواد نانو و مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان ها به امکان ذخیره سازی حرارتی و آزادسازی انرژی گرمایی در پیک گرمایی و سرمایای کمک می کند. فناوری نانو ضمن بهبود بهره وری و کاهش انتشار کربن، با انتشار نانو ذرات به محیط کوجب بروز آثار سمی روی زنجیره غذایی و اکوسیستم و همچنین، آثار تنفسی روی محیط

1. Cerium oxide
2. Silica
3. Iron oxide
4. Copper
5. Iron oxide
6. Clay nanoparticles
7. Zycosil
8. Smart window
9. Nano coatings
10. Phase change materials
11. Energy optimization
12. Photochromic window
13. Thermochromic window
14. Electrochromic window
15. Gasochromic window
16. Low-Emissivity Window
17. Liquid Crystal window
18. Suspended Particles window
19. Monoclinic phase
20. Rutile phase
21. Toxicity of nanoparticles
22. Green synthesis
23. Nanoparticle recycling
24. Biocompatible nanoparticles

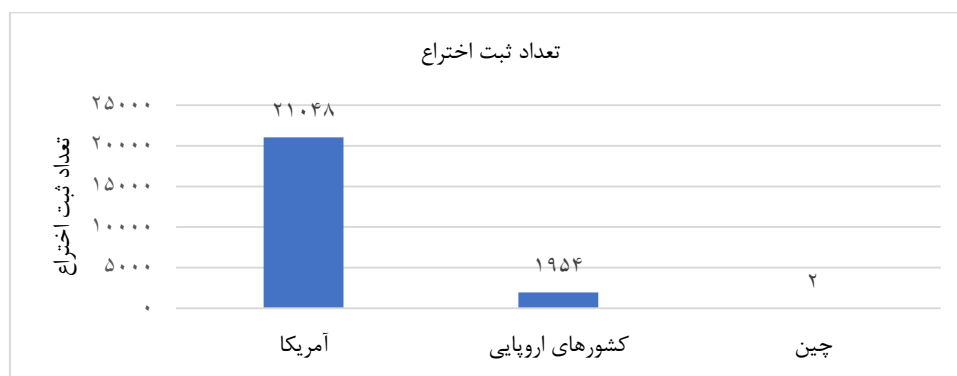
زیست می‌شود. در این بخش روند مقاله‌ها و ثبت اختراع در حوزه نقش نانو و عوامل تأثیرگذار بر آن بررسی می‌شود. همچنین، کارایی نانو در پنجره‌های هوشمند، انواع پنجره هوشمند و کاربرد نانومواد در ساختمان‌های انرژی‌صفر مورد مطالعه قرار گرفت. در کنار مزایای نانومواد در ساختمان، آثار زیست‌محیطی نانومواد در ساختمان‌ها و راه‌های رفع چالش مورد تحلیل قرار گرفت.

۳-۱. روند کاربرد نانو در ساختمان‌های انرژی‌صفر

نمودار ثبت اختراع در این زمینه با وارد کردن کلیدواژه‌های مشخص در مرکز داده لنز، در شکل ۱ ترسیم شده است [۲۸]. کشورهای برتری که ثبت اختراع کاربرد نانو در ساختمان‌های انرژی‌صفر در آن‌ها به ثبت رسیده، در شکل ۲ نشان داده شده است [۲۸].



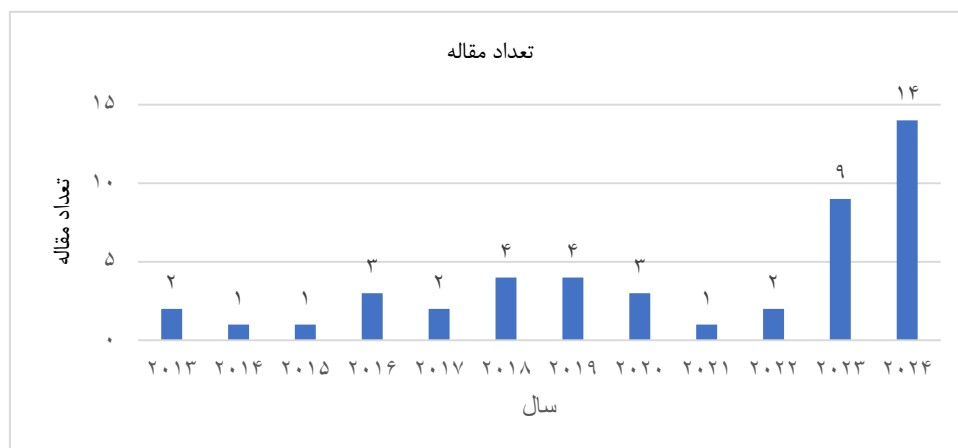
شکل ۱. نمودار ثبت اختراع کاربرد نانو در ساختمان‌های انرژی‌صفر [۲۸]



شکل ۲. تعداد ثبت اختراع کشورهای مختلف در حوزه کاربرد نانو در ساختمان‌های انرژی‌صفر [۲۸]

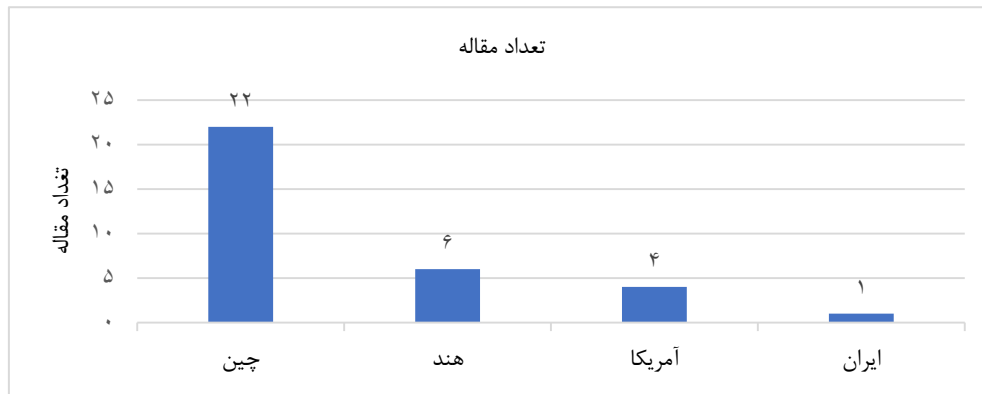
همچنین، ۲۸۰۹۰ ثبت اختراع طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۴ میلادی ثبت شده است [۲۸]. گرمایش جهانی در سال ۱۸۵۰ با استفاده از زغال‌سنگ شروع شد [۳۴]. میزان کربن دی‌اکسید تا سال ۲۱۰۰ میلادی به محدوده ۵۴۱ تا ۹۷۰ PPM می‌رسد [۳۵]. افزایش دما تا چندین سال آینده از ۲ تا ۵ درجه سانتی‌گراد متغیر است و ساختمان‌های انرژی‌صفر در کاهش این اثرها نقش ایفا می‌کنند [۳۶]. توافق پاریس در ۲۰۱۵ میلادی توافقی به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و محدود کردن افزایش دمای جهانی بود و در حرکت جامعه جهانی به سوی ساختمان‌های انرژی‌صفر نقش داشت [۳۷]. ساختمان انرژی‌صفر در بهره‌وری انرژی، صرفه‌جویی انرژی و ادغام با سیستم انرژی‌های تجدیدپذیر نقش دارد [۳۸]. جنگ اوکراین و روسیه در سال ۲۰۲۲ میلادی برای محافظت از مصرف‌کنندگان در برابر افزایش قیمت انرژی به پیشرفت و سرمایه‌گذاری قابل توجهی در حوزه

انرژی تجدیدپذیر منجر شده است [۳۹]. جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ میلادی به ۹/۷ میلیارد نفر می‌رسد [۴۰]. تقاضای انرژی تا سال ۲۰۵۰ میلادی نسبت به سال ۲۰۲۰ میلادی، ۲۵ درصد رشد پیدا خواهد کرد [۳۴]. تقاضای انرژی به دلیل رشد جمعیت و توسعه شهرنشینی در حال افزایش است. ساختمان انرژی‌صفر راه‌حلی برای کاهش مصرف انرژی برای کشورهای مطرح است [۴۱]. تغییرات اقلیمی به افزایش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر می‌شود. سرمایه‌گذاری در حوزه ساختمان‌های انرژی‌صفر به عنوان اقدامی برای کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط کشورهای توسعه‌یافته در نظر گرفته می‌شود [۵]. تقاضای انرژی ناشی از تغییرهای اقلیمی تا سال ۲۰۵۰ میلادی به میزان ۲۵ تا ۵۸ درصد رشد خواهد کرد [۴۲]. همچنین، کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه به دنبال جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر با سوخت‌های فسیلی هستند. این مسیر توسعه شامل توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، بهبود بهره‌وری انرژی، افزایش صرفه‌جویی در انرژی، مالیات کربن، تعادل عادلانه‌تر رفاه انسان و مصرف سرانه انرژی است. ساختمان‌های انرژی‌صفر یکی از راه‌هایی است که می‌تواند به جایگزینی و توسعه این مسیر کمک شایانی بکند [۳۴]. افزایش ۱۰ دلاری مالیات کربن به ازای هر تن دی‌اکسید کربن در آمریکا به سودآوری ۲، ۷ و ۵ درصدی در مناطق سرد، معتدل و نیمه‌خشک منجر می‌شود. مالیات کربن یک مشوق قوی برای مالکان ساختمان به منظور افزایش استفاده از نانو مواد در ساختمان‌های انرژی‌صفر می‌شود [۴۳]. آمریکا به عنوان پیش‌تاز در توسعه نانو تکنولوژی در ساختمان‌های انرژی‌صفر است. کشورهای اروپایی در حال پیشرفت هستند، اگرچه فاصله قابل توجهی با آمریکا دارند. از طرفی، کشور چین به طور جدی وارد این حوزه نشده، که احتمالاً به دلیل اولویت‌های اقتصادی و محدودیت‌های تحقیق‌ها است [۲۸]. کمیسیون اقتصاد سازمان ملل متحد ۱۲ اصل را برای بازارهای پایدار املاک ارائه کرده است. اصل چهارم سبزی‌سازی بخش املاک و مستغلات برای حمایت از کیفیت زندگی مردم و محیط زیست سالم و اصل هشتم تضمین دسترسی به منابع مالی پایدار برای قوانین وام‌دهی و سرمایه‌گذاری است. این دو اصل به پژوهش و سرمایه‌گذاری در حوزه نانو مواد و ساختمان‌های انرژی‌صفر در کشور آمریکا شده منجر است [۴۴]. اتحادیه اروپا به دنبال تولید انرژی از طریق منابع انرژی تجدیدپذیر و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۵۰ میلادی است. هدف اتحادیه اروپا تا سال ۲۰۳۰ میلادی، کاهش ۴۰ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای و اطمینان از تولید ۳۲ درصدی انرژی از منابع تجدیدپذیر است. ساختمان‌های انرژی‌صفر پتانسیل خوبی برای کاهش اثرهای محیط زیستی و نقش اساسی در تحقق اهداف دارند [۴۵]. از ابتدای توسعه ساختمان‌های انرژی‌صفر در چین پروژه‌هایی به مساحت ۲۳/۸۹ میلیون متر مربع در این حوزه انجام شده است. بیش از ۶۰ میلیارد متر مربع ساختمان موجود و ۳۵۰ میلیون متر مربع مقاوم‌سازی ساختمان‌ها در کشور چین، پتانسیل خوبی برای رشد نانو مواد در ساختمان‌های انرژی‌صفر در این کشور فراهم می‌کند [۴۶]. تمام عوامل یادشده به توسعه و سرمایه‌گذاری در حوزه ساختمان‌های انرژی‌صفر منجر شده است. تعداد روند مقاله‌های ثبت‌شده در این حوزه با وارد کردن کلیدواژه‌های مشخص در مرکز داده اسکوپوس از سال ۲۰۱۳ میلادی تا ۲۰۲۴ میلادی در شکل ۳ آورده شده است [۲۹].



شکل ۳. تعداد روند مقاله‌ها در حوزه کاربرد نانو در ساختمان‌های انرژی‌صفر [۲۹]

کشورهای برتری که مقاله‌های کاربرد نانو در ساختمان‌های انرژی‌صفر در آن‌ها به ثبت رسیده، در شکل ۴ نشان داده شده‌اند [۲۹].



شکل ۴. تعداد مقاله کشورها در حوزه کاربرد نانو در ساختمان‌های انرژی‌صفر [۲۹]

رشد جمعیت ارتباط زیادی با مصرف سرانه انرژی دارد. ساختمان‌های انرژی‌صفر راهی برای کاهش اثرهای رشد جمعیت انسان هستند و بهره‌وری انرژی را در بخش‌های مسکونی و تجاری ارتقا می‌دهند [۴۷]. رشد جمعیت، افزایش شهرنشینی، آلودگی‌های محیط زیستی و تقاضای انرژی سبب سرمایه‌گذاری کشورهای چین، هند و آمریکا در ساختمان‌های انرژی‌صفر شده، اما رویکرد هریک در حوزه ساختمان انرژی‌صفر متفاوت است. فناوری‌های به‌کاررفته در ساختمان‌های کربن‌صفر در ایالات متحده در مقایسه با چین و هند پیشرفته‌تر هستند [۴۸]. در دهه گذشته آمریکا، چین و کشورهای اروپایی جزء سه اقتصاد برتر در جهان در حوزه انتشار کربن بودند. این کشورها با توسعه ساختمان‌های انرژی‌صفر در راستای کاهش انتشار کربن و گازهای گلخانه‌ای برداشته‌اند [۴۶ و ۴۹]. مالیات کربن و مالیات بر سوخت‌های فسیلی یکی از راه‌ها و قوانینی است که برای کاهش کربن در نظر گرفته می‌شود. این مالیات می‌تواند مشوقی برای سرمایه‌گذاری کشورها در حوزه ساختمان انرژی‌صفر باشد. در ۳۰ سال آینده بهبود بهره‌وری انرژی، مصرف سرانه برق را در کشورهای توسعه‌یافته ۵۰ درصد کاهش می‌دهد. کاهش اتلاف انرژی در روشنایی، گرمایش و سرمایش ساختمان نه تنها به بهبود بازده انرژی منجر می‌شود، بلکه می‌تواند تأثیر مثبتی بر تولید ناخالص داخلی داشته باشد، که از سال ۲۰۰۰ میلادی به طور میانگین ۱/۵ درصد کاهش یافته است. ابزار اولیه بر جلوگیری از مصرف انرژی مالیات است، اما برای جلوگیری از افزایش مالیات، این مالیات بر مصرف می‌تواند با کاهش مالیات بر درآمد جبران شود [۳۴]. بعد از توافق پاریس در سال ۲۰۱۵ میلادی کشورها سرمایه‌گذاری بیشتری بعد از توافق در حوزه نانو و ساختمان‌های انرژی‌صفر برای کاهش گازهای گلخانه‌ای انجام دادند [۵۰]. در سال ۲۰۱۵ میلادی توافق پاریس به یک مشارکت جهانی برای کاهش ۱/۵ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۰۵۰ میلادی منجر شد [۳۴]. دوره کرونا به کاهش سرمایه‌گذاری در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر منجر شد [۵۱]. در سال ۲۰۲۱ میلادی قاره اروپا یک بازنگری در عملکرد ساختمان‌های انرژی‌صفر انجام داد که هدف آن، قرار دادن اتحادیه اروپا در مسیر صفر خالص انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۵۰ بود. کشورهای عضو باید اطمینان حاصل کنند که میانگین انرژی اولیه در ساختمان‌های مسکونی تا سال ۲۰۳۰ میلادی حداقل ۱۶ درصد و تا سال ۲۰۳۵ میلادی در محدوده‌ای بین ۲۰ تا ۲۲ درصد کاهش یابد [۵۲]. بر اساس نمودار شکل ۴، چین با ۲۲ مقاله بیشترین سهم را دارد، در حالی که هند و آمریکا به ترتیب با ۶ و ۴ مقاله در رتبه‌های بعدی قرار دارند. این توزیع نشان‌دهنده تمرکز قابل توجه چین بر پژوهش‌ها در این حوزه است [۲۹].

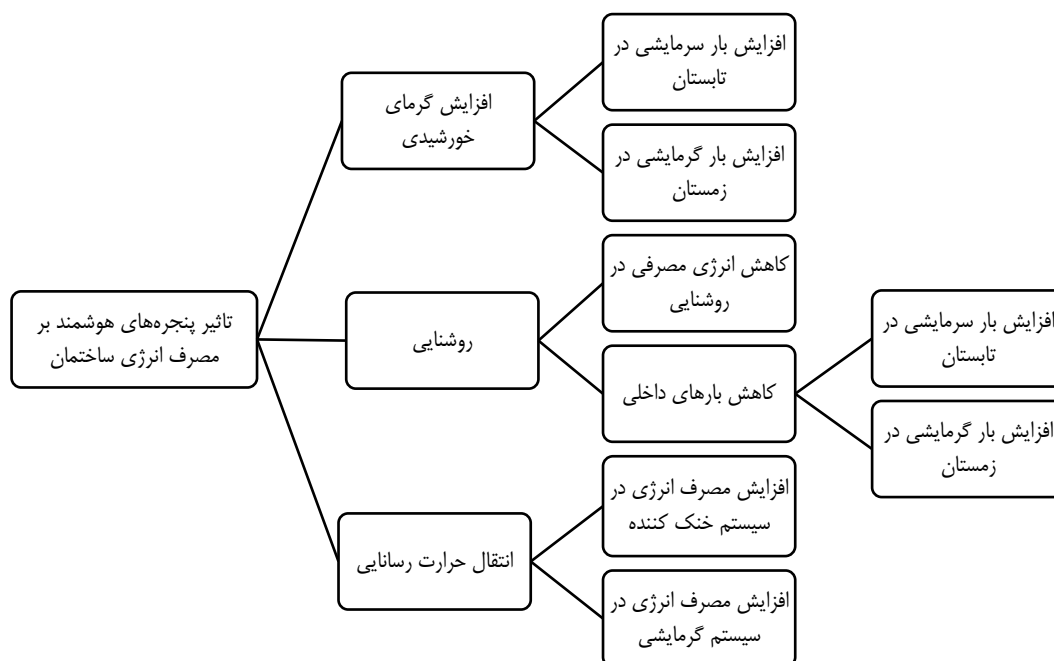
۲-۳. نقش نانوتکنولوژی در ساختمان‌های انرژی‌صفر

کاربردهای متعدد نانوتکنولوژی در ساختمان‌های انرژی‌صفر به پایداری و امنیت انرژی و آسایش حرارتی کمک می‌کنند. همچنین، حفظ دمای زیر ۲۹/۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت زیر ۵۰ درصد برای آسایش ضروری است. راحتی بصری به کیفیت نورپردازی، استفاده از نور طبیعی و تمیزی دیوارها بستگی دارد. نور طبیعی علاوه بر کاهش مصرف انرژی، سلامت را بهبود

می‌بخشد [۵۳]. همچنین، در پژوهش حاضر استفاده از نانومواد در شیشه و پنجره‌های هوشمند و قسمت‌های مختلف ساختمان بررسی شد.

۳-۲-۱. شیشه و پنجره هوشمند در ساختمان انرژی‌صرف

پنجره‌های هوشمند نوعی از پنجره‌های نوین هستند که خواص نوری و حرارتی خود را دارند که با فناوری‌هایی مانند نانومواد یا مواد تغییرفازدهنده قادر به کنترل عبور نور، گرما و انرژی هستند. پنجره هوشمند با استفاده از فناوری‌های نوین مانند نانومواد یا مواد تغییرفازدهنده، قادر به تنظیم شفافیت، عبور نور و گرماست. این ویژگی‌ها به کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها، ایجاد راحتی بصری و آسایش داخلی کمک می‌کنند. تأثیر پنجره‌های هوشمند بر مصرف انرژی ساختمان در شکل ۵ آمده است [۵۴].



شکل ۵. تأثیر پنجره‌های هوشمند بر مصرف انرژی ساختمان [۵۴]

نانوشیشه‌ها با بهینه‌سازی عبور نور، امکان بهره‌برداری حداکثری از نور طبیعی را فراهم می‌کنند. پوشش نانوی خودتمیزشونده به کاهش نیاز به نگهداری و تمیزکاری کمک می‌کند. شیشه تنظیم دما به پراکندگی ۸۰ درصد اشعه خورشید و کاهش ۲۰ درجه‌ای دمای محیط داخلی منجر می‌شود. شیشه محافظ خورشیدی هنگام تابش زیاد خورشید دچار تغییر رنگ از شفاف به مات می‌شود [۵۵]. نانوپوشش‌ها تیتانیوم دی‌اکسید و اکسید ایندیم قلع روی قسمت ساختاری ساختمان و شیشه‌های هوشمند به بهینه‌سازی مدیریت انرژی و کاهش بار مورد نیاز منجر شده است [۵۶]. پنجره‌های شیشه‌ای کم‌مصرف با استفاده از تکنیک‌های شیشه‌کاری ترموکرومیک مبتنی بر اکسید وانادیوم توسعه یافته‌اند که ویژگی‌های صرفه‌جویی در انرژی دارند. پنجره‌های هوشمند با استفاده از تکنیک‌های مختلف از جمله رسوب‌دهی بخار شیمیایی، رسوب لیزری پالسی، رسوب کندوپاش و فرایند سل - ژل تهیه می‌شوند. چنین پنجره‌هایی می‌توانند به سازگاری خودکار با شرایط محیطی و افزایش راحتی کاربران دست یابند. کریستال‌های مایع در پنجره‌های هوشمند به کنترل پویای نور و حرارت، کاهش مصرف انرژی، ایجاد حریم خصوصی بدون نیاز به پرده و بهبود کارایی ساختمان‌ها کمک می‌کنند. این فناوری قابل استفاده در ساختمان‌های مسکونی، تجاری و خودروها است [۵۷]. مقایسه انواع پنجره‌های هوشمند از نظر نوع فعال‌سازی، رنگ، عملکرد نوری و حرارتی در جدول ۱ آمده است [۵۸].

جدول ۱. مقایسه انواع پنجره‌های هوشمند از نظر نوع فعال‌سازی، رنگ، عملکرد نوری و حرارتی [۵۸]

عملکرد حرارتی	عملکرد نوری	رنگ	فعال‌سازی	پنجره هوشمند
—	محافظ اشعه ماوراء بنفش، در نور خورشید و غروب تاریک و روشن می‌شود	سفیدکننده	نور	فتوکرومیک
بازتاب افزایش گرما	انعکاس نور مادون قرمز	رنگی	حرارت	ترموکرومیک
میزان گرما را کنترل کنید	با تغییر رنگ برگشت‌پذیر هنگام اعمال یک بار شارژ، میزان نور را کنترل کنید	رنگی	ولتاژ/جریان	الکتروکرومیک
افزایش حرارت زیاد	نور تابشی را انتقال دهد	سفیدکننده	ولتاژ	کریستال مایع
ذخیره انرژی	محافظ اشعه فرابنفش، کاهش نور مادون قرمز	سفیدکننده	جریان	ذرات معلق

پنجره‌های الکتروکرومیک کنترل ولتاژ، بیشترین انعطاف را در تنظیم نور و حرارت دارند. پنجره‌های ترموکرومیک نیز به تغییر دمای محیطی واکنش نشان می‌دهند و با بازتاب حرارت خورشیدی در کاهش بار حرارتی مؤثر هستند. پنجره‌های فتوکرومیک و ذرات معلق برای محافظت در برابر اشعه فرابنفش و بهبود آسایش بصری کاربرد دارند، اما کنترل دقیق حرارتی در آن‌ها محدودتر است. بسته به اقلیم و نوع کاربری ساختمان، انتخاب نوع پنجره نقش مهمی در بهینه‌سازی مصرف انرژی ایفا می‌کند. پنجره فتوکرومیک در واکنش به تغییر نور خورشید، شفافیت خود را تغییر می‌دهد و به بهبود بهره‌وری انرژی ساختمان کمک می‌کند [۵۹]. پنجره الکترومیک راهکاری مطمئن در ساختمان‌ها است که امکان بهینه‌سازی افزایش گرمای تابشی و آسایش حرارتی را فراهم می‌کند [۶۰]. پنجره‌های ترموکرومیک به طور غیرفعال انتقال نور را در پاسخ به دمای محیط تنظیم می‌کنند و مواد ترموکرومیک شامل اکسیدهای فلزی، هیدروژل‌ها، پروسکایت‌ها و مایع‌های یونی است [۶۱]. پنجره ذرات معلق هنگام اعمال سیگنال الکتریکی AC، از نظر نوری از ظاهر تیره به ظاهر شفاف تغییر می‌کنند. این پنجره‌ها به مدیریت گرما، صرفه‌جویی در انرژی و ایجاد خصوصیت کمک می‌کنند [۶۲]. کریستال مایع در بهره‌وری انرژی و راحتی گزینه مناسبی در پنجره هوشمند کنترل‌شده الکتریکی است [۶۳]. مقایسه ویژگی‌های نوری و حرارتی انواع پنجره‌های هوشمند در جدول ۲ آمده است [۶۴].

جدول ۲. مقایسه ویژگی‌های نوری و حرارتی انواع پنجره‌های هوشمند [۶۴]

بازتاب (درصد)	انتقال نور بصری ^۷ (درصد)	انتقال نور خورشیدی ^۶ (درصد)	عبور نور مرئی ^۵ (درصد)	ضریب سایه ^۴	نسبت مقدار نور مرئی ^۳ (درصد)	ضریب افزایش حرارت خورشیدی ^۲	ضریب انتقال حرارت ^۱ (وات بر مترمربع کلونین)		نوع شیشه
							۵/۷	۵/۹	
۰/۱۲	۰/۷۹	۰/۴۸ - ۰/۸۳	۰/۴۸ - ۰/۸۳	۰/۳۱ - ۰/۸۱	۱/۷۹	۰/۲۶ - ۰/۷۱	۵/۷	۵/۹	فتوکرومیک
۰/۷۸	-۰/۵۴۵ ۰/۰۲۳	۰/۰۲ - ۰/۴۹	۰/۰۴۳ - ۰/۰۶	-۰/۵۴۲ ۰/۲۵۵	—	۰/۱۲ - ۰/۳۱	۱/۳۱	۲/۷۶	ترموکرومیک
۰/۱۶۸	۰/۱۴ - ۰/۷۳	۰/۰۱ - ۰/۵۲	۰/۰۱ - ۰/۷۵	۰/۱۶ - ۰/۷۴	۰/۲۲ - ۱/۳۲	۰/۱۵ - ۰/۶۴	۲/۲		الکتروکرومیک
۰/۱۶۱	۰/۷۵ - ۰/۰۱ ۰/۱۵ - ۰/۵۴	۰/۴۶	۰/۵۴	—	—	۰/۱۴ - ۰/۷۵	۰/۰۹	۱/۰۳	گازوکرومیک
-۰/۵۷۶ ۰/۰۴	۰/۵۵	۰/۲۱۲ - ۰/۵۷	۰/۴۷۸ - ۰/۰۸	۰/۳۱	۱/۳ - ۱/۴	۰/۲۶	۳/۵۸		انتشار پایین
۰/۱۲	۰/۸۸	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۹۴	۱/۴۲ - ۲/۷۳	۰/۸۲ - ۱/۰۲	۵/۴۱		شفاف تک‌لایه

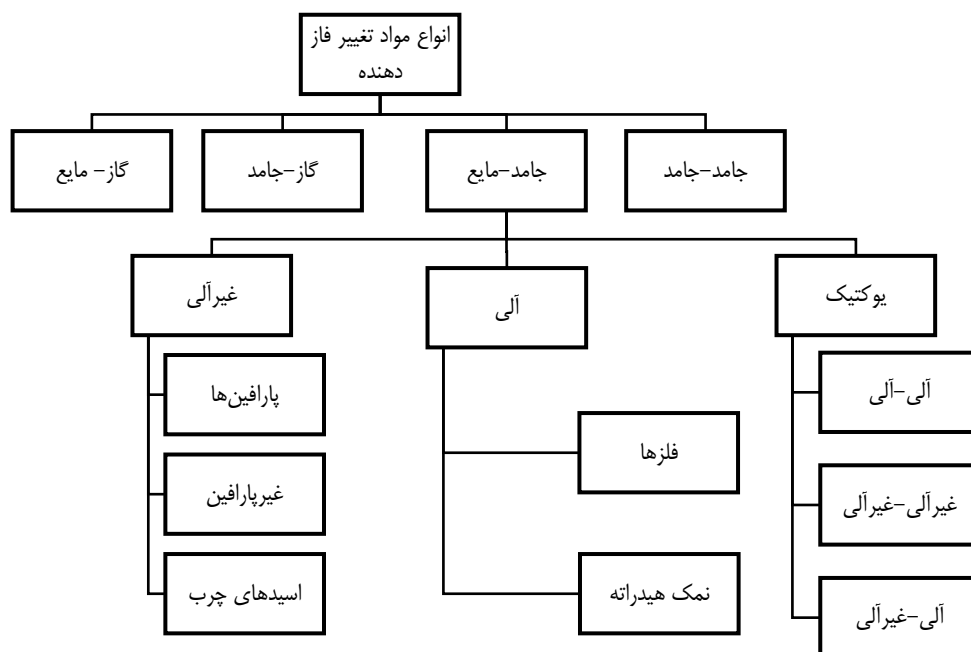
1. U-Value
2. Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)
3. Light-to-Solar Gain (LSG)
4. Shading Coefficient (SC)
5. Transmittance of visible light (T_Vis)
6. solar Transmittance (T_Sol)
7. Visual Light Transmittance (VT)

جدول ۲ ویژگی‌های حرارتی و نوری پنجره‌های هوشمند را نشان داده است. پنجره‌های الکتروکرومیک ضریب انتقال حرارت پایین و توانایی کنترل میزان نور و گرما از طریق اعمال ولتاژ، کارایی حرارتی و نوری دارد. همچنین، تنظیم‌پذیری بازتاب و عبور نور به آسایش حرارتی و بصری ساکنان ساختمان منجر می‌شود. بنابراین، الکتروکرومیک‌ها به دلیل قابلیت تنظیم پویا و بهره‌وری انرژی بالا، مناسب‌ترین انتخاب برای ساختمان‌های انرژی‌صفر و پایدار شهری هستند. ویژگی‌های اصلی شامل میزان انتقال حرارت، ضریب بهره‌وری حرارتی خورشیدی، نسبت انتقال نور به بهره‌وری حرارتی، ضریب سایه‌زنی، درصد عبور نور مرئی، درصد عبور تابش خورشیدی و درصد بازتابش نور هستند. پنجره‌های الکتروکرومیک ضریب انتقال حرارت پایینی دارند و به دلیل ضریب بهره‌وری مناسب، در کنترل حرارت و استفاده از انرژی خورشیدی مؤثرند. پنجره‌های ترومیک و فتوکرومیک کارایی نوری و حرارتی مطلوبی دارند. پنجره‌های گازوکرومیک برای کنترل حرارت خورشید ضریب بهره‌وری حرارتی و ضریب انتقال حرارت خورشیدی مناسبی دارند. پنجره‌های هوشمند با شیشه‌های نمایشگر ذرات معلق و شیشه‌های هدایت نور، به تغییرات محیط پاسخ می‌دهند و عبور نور و بازتاب خورشید را کنترل می‌کنند. نتایج تجربی نشان داد این پنجره‌ها مصرف انرژی خنک‌کننده را تا ۳۶/۹ درصد و مصرف انرژی روشنایی را تا ۵۴/۵ درصد کاهش می‌دهند. در پنجره‌های هوشمند، فاز روتایل دی‌اکسید تیتانیوم به دلیل خواص نوری بهتر مانند انعکاس و جذب نور، عملکرد بهتری در بهبود جذب و تبدیل نور خورشید دارد، که در نتیجه موجب افزایش راندمان فتوولتائیکی می‌شود [۶۵]. ترکیب فاز مونوکلینیک و روتایل در پنجره‌های هوشمند به بهینه‌سازی استفاده از انرژی خورشیدی کمک می‌کند. انتخاب بین این دو فاز به نیازهای خاص سیستم پنجره بستگی دارد؛ روتایل به دلیل پاسخ سریع‌تر به میدان‌های الکتریکی معمولاً برای پنجره‌های با تغییرهای سریع شفافیت مناسب‌تر است، در حالی که مونوکلینیک به دلیل پایداری در دماهای پایین‌تر، برای شرایط محیطی خاص مفیدتر است. هیبریداسیون عناصر با وانادیوم دی‌اکسید در طرح‌های ساختاری روی عبور نور، توانایی مدولاسیون انرژی خورشیدی و چندمنظوره بودن مرتبط با ساختمان مفید است [۶۶]. شیشه‌های با پوشش تیتانیوم دی‌اکسید، با ویژگی فوتوکاتالیستی خود در واکنش به نور فرابنفش، آلودگی‌ها و گرد و غبار را تجزیه می‌کنند و سطح شیشه را بدون نیاز به نگهداری دستی تمیز نگه می‌دارند [۶۷]. نانو ذرات سیلیکا به بهبود عایق‌بندی حرارتی، کاهش انتقال حرارت و حفظ دمای مطلوب داخلی کمک می‌کنند [۶۸]. اکسید قلع ایندیوم به عنوان لایه‌ای شفاف و رسانا، برای کنترل حرارتی و الکتریکی به کار می‌رود [۶۹]. نانولوله‌های کربنی، نانو الیاف کربنی و نانو الیاف گرافیت در پنجره‌های هوشمند به بهبود مدولاسیون نوری، پایداری مکانیکی و هدایت حرارتی کمک می‌کنند [۷۰]. این مواد با افزایش عملکرد انرژی و دوام پنجره‌ها نقش مهمی در ارتقای کارایی ساختمان‌ها دارند. ویژگی آب‌گریزی آن باعث می‌شود که قطره‌های آب به راحتی از سطح شیشه بگذرند و لکه ایجاد نکنند. این شیشه‌ها دوام بالایی دارند و تحت شرایط مختلف آب و هوایی عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهند. همچنین، در کاهش هزینه‌های تمیزکاری و نیاز به مواد شوینده شیمیایی مؤثر هستند [۷۱]. پوشش نانومواد روی شیشه‌ها مقاومت بالایی در برابر سایش نشان می‌دهد؛ پس از ۱۰ هزار چرخه سایش، شیشه همچنان ویژگی‌های خود را حفظ می‌کند. این پوشش با شیارهای میکروسکوپی که باعث جذب بهتر مواد دی‌اکسید تیتانیوم می‌شوند، به بهبود عملکرد خودتمیزشوندگی کمک می‌کند. فاصله‌های شیارها بر استحکام، بازتاب و عبور نور تأثیر می‌گذارند و با کاهش اثر سایش قطره‌های آب، عملکرد شیشه در برابر آلودگی و سایش را بهبود می‌بخشند. زاویه تماس قطره‌های آب پس از ۱۰ هزار چرخه همچنان بالای ۹۰ درجه بوده، نشان‌دهنده آب‌گریزی بالاست [۷۲]. این پنجره‌ها نقش مهمی در طراحی ساختمان‌های پایدار و انرژی‌صفر ایفا می‌کنند. پنجره‌های هوشمند به صرفه‌جویی در انرژی، افزایش آسایش داخلی ساختمان و کاهش نیاز به نگهداری کمک می‌کنند. نانومواد در پنجره‌های هوشمند در تنظیم نور و حرارت مؤثر بوده است. برای درک بهتر نقش نانومواد در مقیاس بزرگ‌تر، یعنی کل ساختمان بررسی می‌شود تا کارایی این مواد در ساختمان مورد بررسی قرار گیرد.

۳-۲-۲. نانومواد و مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان

ساختمان انرژی‌صفر طی یک سال، مقدار انرژی تولیدشده از منابع تجدیدپذیر برابر یا بیشتر از مقدار انرژی مصرفی آن است [۷۳]. مواد تغییر فاز دهنده در ذخیره انرژی در ساختمان‌های انرژی‌صفر نقش مهمی دارد. این مواد قابلیت ذخیره و آزادسازی انرژی حرارتی برای رسیدن به نقطه آسایش حرارتی را دارند. مواد تغییر فاز دهنده به افزایش کارایی انرژی و کاهش مصرف اضافی

در سیستم‌های تهویه و گرمایش منجر می‌شود [۲۲]. طبقه‌بندی انواع مواد تغییرفازدهنده مورد استفاده در ذخیره انرژی حرارتی در ساختمان‌های انرژی‌صرف در شکل ۶ آمده است [۷۴].



شکل ۶. طبقه‌بندی انواع مواد تغییرفازدهنده مورد استفاده در ذخیره انرژی حرارتی در ساختمان‌های انرژی‌صرف [۷۴]

مواد تغییرفازدهنده برای عملیات حرارتی برای خنک شدن در روز و گرم کردن فضای داخلی در شب، مصرف انرژی را کاهش می‌دهد. این مواد در داخل آجر، دیوار، سقف، کف و سرتاسر ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵۵]. برای افزایش عملکرد سیستم، از مواد تغییر فاز نانو در ضخامت‌های مختلف با پر کردن حفره‌های اطراف لوله گرمایش استفاده شد که نانوذرات مس با کسر حجمی جامد ۱ درصد منجر به بهبود بسیار جزئی استفاده از نانو پودرها در مواد تغییرفازدهنده برای این سیستم انرژی است [۷۵]. ادغام نانومواد به مواد تغییرفازدهنده سطح را نسبت به حجم بیشتر می‌کند و سطح تماس مواد تغییرفازدهنده را با محیط بیشتر می‌کند. این افزایش سطح سبب تبادل حرارت کارآمد طی انتقال فاز می‌شود. نانومواد هدایت حرارتی مواد تغییرفازدهنده را بیشتر می‌کند [۷۶]. کاربرد نانومواد در صنعت ساختمان در جدول ۳ آمده است [۷۷].

جدول ۳. کاربرد نانومواد در صنعت ساختمان [۷۷]

نانومواد	مصالح ساختمانی	کاربردها
نانولوله‌های کربنی	بتن، سرامیک	نظارت بر سلامت سازه جلوگیری از ترک، افزایش دوام خواص مکانیکی و حرارتی را بهبود می‌بخشد
تیتانیوم دی‌اکسید	بتن، پوشش	آبرسانی سریع، خودتمیزشوندگی و افزایش دوام آب دوستی فوق‌العاده، مقاوم در برابر رسوب و ضد مه خودتمیزشوندگی، خواص آب‌گریز
سیلیکا	بتن، سرامیک	تثبیت مقاومت مکانیکی خنک‌کننده، مقاومت در برابر آتش و انتقال نور ضد شعله، خودتمیزشونده و ضد انعکاس
اکسید آهن	بتن	افزایش مقاومت فشاری و مقاومت در برابر سایش در بتن
مس	فلز	ناهمواری سطح را کاهش می‌دهد، جوش‌پذیری، شکل‌پذیری و مقاومت در برابر خوردگی را بهبود می‌بخشد
اکسید آلومینیوم	الوار بتن آسفالت، بتن، ملات آجر	افزایش قابلیت سرویس‌دهی مدول الاستیسیته افزایش می‌یابد افزایش مقاومت فشاری و مقاومت در برابر سایش
نانو ذرات خاک رس	بتن	افزایش مقاومت در برابر نفوذ کلرید، بهبود خواص خود تراکم و عملکرد مکانیکی، کاهش نفوذپذیری و جمع‌شدگی
زایکوسویل	بتن، آسفالت	فشرده‌گی بیشتر و افزایش عمر خستگی

نانومواد در بتن سبب عملکرد بسیار بالا، خودتمیزشوندگی، خودگرمايشی، حفاظت از آتش، افزایش استحکام و می شود. مواد نانو رس سطح سنگ و چوب از نفوذ مواد به داخل آن جلوگیری کرده و رنگ و ساختار اصلی آن را حفظ می کند. ساختمان های ساخته شده با سیمان الیافی در نما ساختمان به کار می رود و نور خورشید را جذب می کند. همچنین، از نفوذ آلودگی و باکتری جلوگیری می کند [۷۸]. نانومواد ۲۰ درصد مصرف انرژی در تولید مواد ساختمانی را کاهش می دهد. نانومواد در مصالح ساختمانی ۳۵ درصد عمر مفید ساختمان و نانوساختارها استحکام و پایداری ساختمان را ۴۰ درصد افزایش می دهد [۷۹]. کاربردهای نانوتکنولوژی بر قسمت های مختلف ساختمان در جدول ۴ تحلیل شده است [۷۸، ۸۰، ۸۷].

جدول ۴. کاربردهای نانوتکنولوژی بر قسمت های مختلف ساختمان [۷۸، ۸۰، ۸۷]

کاربرد نانو	نتیجه ها
پانل عایق خالص	✓ عملکرد عایق حرارتی بالا
	✓ کارآمد انرژی
	✓ کاهش انتشار دی اکسید کربن
	✓ مورد استفاده در سازه های موجود یا جدید
	✓ نیاز نداشتن به نگهداری منظم
عایق	مواد تغییر فاز دهنده
	✓ کنترل و تنظیم عملکرد حرارتی در داخل خالص
	✓ کاهش مصرف انرژی
	✓ عایق های صوتی نانو سرعت امواج صوتی را کاهش می دهند.
پوشش	✓ عایق های با مقاومت حرارتی بالاتر، انتقال حرارت را کمتر می کند و موجب صرفه جویی انرژی می شود.
	✓ نانوصفحات سفالی و الیاف سلولزی به عنوان پوشش های مؤثر و مقاوم در برابر رطوبت استفاده می شود
	پتوهای هواژل
	✓ عایق حرارتی و صوتی
ضد باکتری	✓ مقاومت در برابر رطوبت
	✓ کاهش مصرف انرژی و انتشار دی اکسید کربن
	این پوشش به دلیل وجود دی اکسید تیتانیوم و ذرات نقره در اندازه نانو در برابر باکتری ها و میکروب ها مقاوم است.
	✓ نانو پوشش ضد باکتری و مقاوم در برابر آب و هوا
نانو پوشش سنگ و چوب	✓ پوشش ها معمولاً از ذرات الماس، نقره، شیشه و سرامیک تشکیل شده اند می توانند تا دمای ۳۰۰ درجه سانتی گراد را تحمل کنند.
	✓ تمیزی راحت لکه ها
	✓ جلوگیری از کپک، جلبک و عوامل محیطی دیگر
الیاف سیمان	✓ محافظت در برابر کثیفی
	✓ لکه ها و کثیفی ها طی زمان جمع می شوند.
	✓ سیمان به کار رفته در نمای ساختمان نور خورشید را جذب می کند.
آجر و سرامیک	✓ با استفاده از نانوپوشش های سنگ و چوب از نفوذ آلودگی و باکتری جلوگیری می شود.
	✓ جلوگیری از کثیف شدن سطح بیرونی و درونی ساختمان
ماسه سنگ و بتن هوادهی	✓ جلوگیری از ایجاد لکه
	✓ معمولاً مستعد جذب کثیفی هستند. استفاده از نانوپوشش سنگ و چوب روی بتن هوادهی و ماسه سنگ از ایجاد کثیفی روی آن ها جلوگیری می کند.
بتن	✓ کنترل و جلوگیری از ترک ها و خودترمیم شوندگی
	✓ سیلیکا و نانوذرات آهن باعث افزایش مقاومت مکانیکی بتن می شود.
	✓ سیلیکا و نانو ذرات رس از نفوذ آب به بتن جلوگیری می کند.
	✓ نانولوله های کربنی موجب افزایش دوام بتن می شوند. نانولوله کربنی یک ششم چگالی فولاد را دارند و هشت برابر فولاد استحکام دارند.
فولاد	✓ تیتانیوم دی اکسید خاصیت ضد عفونی دارد.
	✓ افزودن نانوذرات مس به فولاد، زبری سطح و عوامل تنش زا را کاهش می دهد.
رنگ ساختمان	✓ افزایش دوام و کاهش هزینه ها
	✓ جلوگیری از رشد قارچ و کپک
	✓ خاصیت ضد خش روی سطح اجزای ساختمان

جدول ارائه‌شده به بررسی کاربردهای نانومواد در صنعت ساختمان می‌پردازد. نانوذرات به بهبود خواص مکانیکی و عایق‌های حرارتی با کارایی بالا نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی دارند. همچنین، استفاده از نانومواد می‌تواند به افزایش عمر مفید ساختمان‌ها و بهبود کیفیت هوای داخلی، کاهش مصرف انرژی، افزایش طول عمر ساختمان، توسعه ساختمان‌های پایدار و محیط زیست کمک می‌کند. با توجه به کاربردهای گسترده نانومواد در صنعت ساختمان لازم است که اثرات زیست‌محیطی نانوذرات و راه‌های رفع چالش آن ارزیابی شود. بنابراین، آثار زیست‌محیطی نانومواد در ساختمان‌های انرژی‌صرف بررسی می‌شود.

۳-۳. اثرهای زیست‌محیطی و چالش‌های نانومواد در ساختمان

نانومواد خواص مصالح ساختمانی را بهبود می‌بخشند، اما تأثیر و چالش‌های زیست‌محیطی شامل سمیت، نگرانی‌های ارزیابی چرخه عمر و نیاز به منابع پایدار دارد که باید برای تضمین پایداری کلی زیست‌محیطی در ساخت‌وساز مورد توجه قرار گیرد [۸۹]. روش سنتز سبز در کاهش مصرف انرژی در تولید نانوذرات انرژی کم‌تری استفاده می‌کند. فرایندهای بیولوژیکی سنتز سبز، به دلیل ایمنی، سازگاری با محیط زیست، عدم سمیت و به‌صرفه بودن، برای توسعه نانوذرات از ۱ تا ۱۰۰ نانومتر در مقایسه با دیگر روش‌ها، مناسب‌تر است [۹۰]. نانومواد سبز تأثیرهای منفی بر محیط زیست را در کل چرخه عمر خود، از جمله تولید، ساخت، استفاده مجدد و دفع، کاهش می‌دهند و اهداف پایداری را ارتقا می‌دهند. این کاهش مصرف انرژی در تولید نانوذرات ساختمان‌های انرژی‌صرف در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مفید است [۲۷]. نانوذرات در ساختمان‌ها اثرهای زیست‌محیطی مانند سمیت، ورود به چرخه زنجیره غذایی، کثیف کردن آب، کثیف کردن هوا و انتشار نانومواد به محیط زیست را دارد. [۲۶]. سنتز سبز نانوذرات با استفاده از منابع زیستی مانند گیاهان و پسماند کشاورزی، مصرف انرژی را تا ۳۰ درصد و هزینه‌ها را تا ۴۰ درصد کاهش داده و بازده تولید را تا ۵۰ درصد افزایش می‌دهد [۹۱].

این نانومواد هنگام تخریب، تولید و نصب وارد محیط زیست می‌شوند و آب، خاک و هوا را آلوده می‌کنند. برخی از این نانومواد مانند نانو نقره و تیتانیوم دی‌اکسید اثرهای سمی بر اکوسیستم دارند. بازیافت نانومواد، جداسازی نانومواد از پسماندهای ساختمانی و نانوذرات سبز راه‌حل رفع این مشکل است [۹۲]. نانوذرات سبز یک روش سازگار با محیط زیست است که در ساختمان‌های انرژی‌صرف کاربرد دارد. این مواد به کاهش انتشار آلاینده‌ها، سمیت و اثرهای زیست‌محیطی کمک می‌کند. نانوذرات سبز روشی پایدار برای سنتز نانوذرات با استفاده از موجودات زنده است که به جای مواد شیمیایی سمی، از آنزیم‌ها و عصاره‌های گیاهی بهره می‌برد. این روش به نانوذرات با سمیت کمتر و تجزیه‌پذیری بالا منجر می‌شود و جایگزینی امن‌تر برای روش‌های سنتزی است. عصاره‌های گیاهی به دلیل داشتن عوامل کاهنده طبیعی، برای تولید نانوذرات پایدارتر از میکروارگانیسم‌ها استفاده می‌شوند [۹۳]. پسماندهای حاوی نانومواد در ساختمان‌های انرژی‌صرف به دلیل تجزیه‌ناپذیری در طبیعت، آب‌های زیرزمینی و خاک انباشته می‌شوند. برای رفع این چالش نانوذرات سازگار با محیط زیست در پسماند ساختمان‌های انرژی‌صرف در طبیعت تجزیه می‌شوند. اثرهای منفی نانوذرات نیاز به استراتژی‌های بازیافت نوآورانه و کارآمد را ضروری می‌سازند [۹۴].

نانوفیلتراسیون سطحی و جذب سطحی در کاهش اثرهای منفی نانوذرات در پسماندهای ساختمان بسیار اثرگذار است. نانوفیلتراسیون سطحی با غشاهای نانومتری در فیلتر کردن نانوذرات استفاده می‌شود [۹۵]. زباله‌های ساختمانی و تخریب ۳۰ تا ۴۰ درصد از زباله‌های جامد تولیدشده در سطح جهان را تشکیل می‌دهند. جذب سطحی فرایندی است که نانوذرات بر سطح ماده جذب می‌شوند. این دو روش از انتشار نانوذرات ساختمان‌های انرژی‌صرف در محیط زیست جلوگیری می‌کند [۹۶]. نانولوله‌ها کربنی از طریق خوردن، نوشیدن، یا تماس مستقیم با پوست ممکن است به آسیب‌های ریوی، عفونت‌های سلولی یا حتی ایجاد تومور منجر شود [۹۷]. نانوذرات سیلیکا از طریق تنفس، بلع یا تماس پوستی وارد بدن می‌شود و التهاب‌های تنفسی را در انسان ایجاد می‌کند [۹۸]. نانوذرات مبتنی بر کربن، مانند فولرن‌ها، نانولوله‌ها، اکسیدهای فلزاتی مانند آهن و تیتانیوم و ترکیبات معدنی طبیعی، از جمله آزبست و کوارتز، اثرهای بیولوژیکی بر محیط زیست و سلامت انسان دارند. نانوذرات از طریق سیستم‌های مختلف مانند تنفسی، گوارشی یا پوست وارد بدن موجودات می‌شوند. این ذرات پس از ورود می‌توانند به ارگان‌ها و اجزای سلولی

آسیب برسانند و تولید گونه‌های رادیکال اکسیژن^۱ را تحریک کنند که موجب سمیت می‌شود [۹۹]. گیاهان به عنوان مسیر اصلی انتقال نانوذرات به سایر سطوح زنجیره غذایی شناخته می‌شوند. نانوذرات مانند تیتانیوم دی‌اکسید، روی اکسید و نقره می‌توانند تأثیرهای سمی بر رشد، جوانه‌زنی و عملکرد فتوسنتز گیاهان داشته باشند. نانوذرات کوچک‌تر معمولاً سمی‌تر هستند و به راحتی وارد سلول‌های گیاهی می‌شوند [۱۰۰]. اثرهای بیولوژیکی نانومواد مورد استفاده در ساختمان بر اندام‌های بدن انسان در جدول ۵ آمده است [۱۰۱].

جدول ۵. اثرهای بیولوژیکی نانومواد مورد استفاده در ساختمان بر اندام‌های بدن انسان [۱۰۱]

آسیب	نانومواد
سیستم ایمنی ریه‌ها کبد مغز سرطان‌زایی سیستم عروقی اندام‌های تناسلی فیبروبلاست	نانوذرات نقره
التهاب در ریه آسیب به دی‌ان‌ای تغییرات متابولیک سرطان‌زایی مرگ سلولی	تیتانیوم دی‌اکسید
تکثیر سلولی آسیب اکسیداتیو دی‌ان‌ای	اکسید روی، اکسید آهن
آسیب دی‌ان‌ای آسیب اکسیداتیو دی‌ان‌ای	مس روی
آسیب دی‌ان‌ای استرس اکسیداتیو التهاب	نانوتیوب کربن
آسیب دی‌ان‌ای آسیب اکسیداتیو دی‌ان‌ای	مس اکسید

استفاده از نانوذرات سازگار، نانوموادسبز و روش‌های دیگر در کاهش اثرهای نانومواد ساختمانی هنگام تولید یا تخریب ساختمان یک ضرورت است. آگاهی‌های اجتماعی و ایجاد و رعایت قانون‌ها در حوزه ساختمان یک امر ضروری است.

۴. نتیجه‌گیری

بررسی روند ثبت اختراع‌ها و مقاله‌های بین‌المللی در حوزه کاربرد نانومواد در ساختمان‌های انرژی‌صفر نشان‌دهنده پیشرفت و سرمایه‌گذاری در این حوزه و یک گزینه مناسب در سیاست‌های توسعه شهری پایدار است. تحلیل داده‌ها از پایگاه‌های لنز و اسکوپوس نشان می‌دهد بین سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۴ میلادی، ۲۸۰۹۰ اختراع در این حوزه ثبت شده که سهم کشورهای پیشرو آمریکا ۲۱۰۴۸ ثبت اختراع، کشورهای اروپایی ۱۹۵۴ ثبت اختراع و چین ۲ ثبت اختراع است. تحلیل مقاله‌های علمی از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ میلادی حاکی از رشد این حوزه است که چین با ۲۲ مقاله، هند با ۶ مقاله و آمریکا با ۴ مقاله در رتبه‌های برتر قرار دارند. این آمار نشان‌دهنده تمرکز کشورهای صنعتی و در حال پیشرفت در توسعه این فناوری است که نیاز به

سیاست‌گذاری‌های بین‌المللی برای تمام کشورهای جهان است. همچنین فاصله زیادی بین کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه در این حوزه وجود دارد.

ساختمان‌های انرژی‌صرف با بهره‌گیری از نانومواد و مواد تغییر فاز دهنده در اجزای ساختمان به چالش‌های محیط زیستی، اقلیمی و انرژی کمک می‌کنند. همچنین، ساختمان‌ها در ۴۰ درصد مصرف انرژی و ۳۰ درصد در انتشار گازهای گلخانه‌ای نقش دارند. افزایش جمعیت، بحران انرژی، آلودگی‌های زیست‌محیطی و تغییرهای اقلیمی نیاز جهان را به ساختمان‌های انرژی‌صرف دوچندان کرده است. نانومواد در پنجره‌های هوشمند به تنظیم میزان نور عبوری، کاهش اشعه فرابنفش، تیرگی و شفافیت و کنترل حرارت منجر می‌شوند. همچنین، شیشه‌های خودتمیز شونده با خاصیت آب‌گریزی و فوتوکاتالیستی باعث کاهش هزینه‌های نگهداری، کاهش مصرف آب و کاهش مواد شوینده می‌شوند. پنجره‌های هوشمند ۳۶/۹ درصد و تا ۵۴/۵ درصد مصرف انرژی خنک‌کننده و مصرف انرژی روشنایی را کاهش می‌دهند. نانومواد در بتن، رنگ، سقف، کف و اجزای مختلف ساختمان در بهره‌وری انرژی، کاهش هزینه‌های نگهداری، افزایش دوام، کاهش رشد باکتری، مقاومت در برابر آتش و عایق حرارتی تأثیر دارد. استفاده از نانومواد در بافت شهری آسیب‌های ناشی از خوردگی، رطوبت، زلزله و آتش‌سوزی را کاهش داده و به افزایش طول عمر ساختمان، کاهش هزینه‌های نگهداری و کاهش نیاز به بازسازی منجر می‌شود. استفاده از نانومواد در ساختمان‌ها ۳۵ درصد عمر مفید ساختمان و ۴۰ درصد استحکام و پایداری ساختمان را افزایش می‌دهد. این مواد در کاهش ۲۰ درصدی مصرف انرژی در تولید مواد ساختمان مفید است.

نانومواد در کنار دستاوردها، چالش‌های زیست‌محیطی مانند سمیت، ورود به زنجیره غذایی و اثرهای نامطلوب بر سلامت انسان دارد. سنتر سبز، بازیافت نانومواد و تولید نانوذرات تجدیدپذیر برای رفع این چالش‌ها ضروری است. با اتخاذ رویکردها می‌توان به بهبود عملکرد انرژی و کاهش هزینه‌های نگهداری کمک کرد. این دستاوردها راهی برای آینده در حوزه مهندسی انرژی و توسعه پایدار مطرح می‌شوند که هم‌زمان با بهره‌برداری بهینه از منابع طبیعی، سلامت جامعه و محیط زیست را نیز در اولویت قرار می‌دهند. سنتر سبز نانوذرات ساختمانی ۳۰ درصد مصرف انرژی و ۴۰ درصد هزینه‌ها را کاهش می‌دهد و ۵۰ درصد در افزایش بازده تولید تأثیرگذار است.

این پژوهش با دستاوردهای فناوری نانومواد در صنعت ساختمان و چالش‌های زیست‌محیطی و سیاستی را مورد تحلیل قرار داده و مسیرهای عملی برای توسعه سیاست‌گذاری مناسب در کشورهای در حال توسعه ایران ارائه می‌دهد. این تحقیق با تحلیل داده‌های ثبت اختراع و مقاله‌های علمی، عاملی برای برنامه‌ریزی، جذب سرمایه و تدوین استانداردهای ملی و محلی فراهم کرده است.

پژوهش‌های آینده می‌تواند به اثرهای بلندمدت نانومواد بر محیط زیست و سلامت انسان، توسعه نانومواد تجدیدپذیر، بهبود روش‌های سبز تولید و بازیافت و کاهش هزینه‌ها در کاربرد نانومواد در ساختمان‌های انرژی‌صرف متمرکز شوند. همچنین دولت، دانشگاه، صنعت و سایر ارگان‌ها با توسعه قوانین، استانداردها و حمایت‌های مالی و سیاسی در سطح ملی و بین‌المللی در پیشرفت این فناوری‌ها نقش دارند. در ایران، تدوین سیاست‌های شهری مبتنی بر حمایت از پروژه‌های انرژی‌صرف، ایجاد مشوق‌های مالی، استقرار رصدخانه‌ها و تقویت ارتباط دانشگاه، شهرداری‌ها و صنعت ضروری و دولت با حمایت مالی و مشوق‌ها در گسترش این حوزه کارایی دارد. با توجه به اهمیت فناوری نانومواد در ساختمان‌ها و توسعه شهری، لازم است ارتباط هماهنگی بین سیاست‌گذاران، پژوهشگران و فعالان صنعتی برای پیشرفت در این حوزه به وجود بیاید. آینده پایدار، عدالت در توسعه شهری و زیست‌محیطی و حمایت از فناوری‌ها در این حوزه نیاز به یک تصمیم، هماهنگی و آینده‌نگری در حوزه نانومواد در ساختمان‌های انرژی‌صرف است.

منابع

1. Yaghoubi AA, Gandomzadeh M, Gholami A, Gavagsaz-Ghoachani R, Zandi M, Phattanasak M. Harnessing Machine Learning with Advanced Linear Regression Models to Forecast PV System. In: 2024 International Conference on Materials and Energy: Energy in Electrical Engineering (ICOME 2024) [Internet]. IEEE; 2024. p. 1–4. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10845673/>
2. Parsay A, Gandomzadeh M, Yaghoubi AA, Hoorsun A, Gholami A, Zandi M, et al. Enhancing photovoltaic efficiency: An in-depth systematic review and critical analysis of dust monitoring, mitigation, and cleaning techniques. *Appl Energy* [Internet]. 2025 Jun;388:125668. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261925003988>
3. Piryaei Z, Gholami A, Zandi M. 4E performance evaluation of renewable microgrids : Comparing hydrogen and battery storage for nearly net zero energy buildings. *Energy Convers Manag* [Internet]. 2025;332(March):119711. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.119711>
4. Zhai ZJ, Helman JM. Implications of climate changes to building energy and design. *Sustain Cities Soc*. 2019;44:511–9.
5. Aram K, Taherkhani R, Šimelytė A. Multistage optimization toward a nearly net zero energy building due to climate change. *Energies*. 2022;15(3):983.
6. Nam K, Ahn HW, Lee SG, Kim J, Jeong SG. Net zero proximity index and techno-economic analysis of BIPV for zero energy and zero emission buildings. *J Build Eng*. 2025;103:112188.
7. Gandomzadeh M, Gholami A, Zandi M. Modeling Environmental Parameters Affecting the Performance of Solar Photovoltaic Systems Using Machine Learning. In: 2025 10th International Conference on Technology and Energy Management (ICTEM2025). Tabriz; 2025.
8. Gandomzadeh M, Yaghoubi AA, Hoorsun A, Parsay A, Gholami A, Zandi M, et al. Dust mitigation methods and multi-criteria decision-making cleaning strategies for photovoltaic systems: Advances, challenges, and future directions. *Energy Strateg Rev*. 2025;57:101629.
9. Cai S, Gou Z. Impact of COVID-19 on the energy consumption of commercial buildings: A case study in Singapore. *Energy Built Environ*. 2024;5(3):364–73.
10. Nguyen TH, Take K, Take K. Reviewing of the net-zero energy buildings and housings in Japan. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing; 2024. p. 12004.
11. Weerasinghe LNK, Darko A, Chan APC, Blay KB, Edwards DJ. Measures, benefits, and challenges to retrofitting existing buildings to net zero carbon: A comprehensive review. *J Build Eng*. 2024;109998.
12. Wilberforce T, Olabi AG, Sayed ET, Elsaid K, Maghrabie HM, Abdelkareem MA. A review on zero energy buildings—pros and cons. *Energy and Built Environment*. 2021.
13. Iran Energy Information. 2023.
14. Kalantar SV, Saifoddin AA, Hajinezhad A, Ahmadi MH. A solution to prevent a blackout crisis: Determining the behavioral potential and capacity of solar power. *Int J Photoenergy*. 2021;2021(1):2092842.
15. Gandomzadeh M, Kabiri-Sedeh M, Gavagsaz-Ghoachani R, Zandi M. Practical reliability study of a photovoltaic system for the supply of home load profile; Case study: Tehran city. In: 2019 Iranian Conference on Renewable Energy & Distributed Generation (ICREDG2019). Tehran; 2019. p. 1–6.
16. Yaghoubi AA, Gandomzadeh M, Gholami A, Gavagsaz Ghoachani R, Zandi M, A. Kazem H. Optimize photovoltaic panels cleaning scheduling framework based on variations of hourly-based active electricity pricing in the market. *Sol Energy*. 2024 Jun;275(May):112633.
17. Jami M, Parsay A, Gandomzadeh M, Mosayyebi A, Gavagsaz-Ghoachani R, Zandi M. Future Energy Modeling Pathway in Iran: Scenario Analysis Using Cross-Impact Balance Method. *J Sustain Energy Syst*. 2024;3(2):193–208.
18. Gandomzadeh M, Mahmoudian Younesi S, Mosayyebi A, Zandi M. Development scenarios for electrical energy storage in Iran with Cross-Impact Balance method. *J Sustain Energy Syst* [Internet]. 2022;1(4):373–96. Available from: https://ses.ut.ac.ir/article_91815.html?lang=en

19. Gholami A, Deghan Banadaky M, Gholami A. Advancing Sustainability in Dairy Farming: Integrating Renewable Energy and Dietary Innovations. In: 2025 10th International Conference on Technology and Energy Management (ICTEM). 2025.
20. Zhang S, Xu W, Wang K, Feng W, Athienitis A, Hua G, et al. Scenarios of energy reduction potential of zero energy building promotion in the Asia-Pacific region to year 2050. *Energy*. 2020;213:118792.
21. Ahmadizadeh M, Heidari M, Thangavel S, Khashehchi M, Rahmanivahid P, Singh VP, et al. Development of new materials for sustainable buildings. In: *Sustainable Technologies for Energy Efficient Buildings*. CRC Press; 2024. p. 30–48.
22. Boobal Krishnan P, Kumar PM, Balaji G, Jenaris DS, Kaarthik S, Babu MJP, et al. Thermal management of metal roof building using phase change material (PCM). *Mater Today Proc*. 2021;47:5052–8.
23. Soleymani M, Amrollahi R, Taghdir S, Barzegar Z. Nanotechnology for thermal comfort and energy efficiency in educational buildings with a simulation and measurement approach in BSh climate. *Sci Rep*. 2024;14(1):21502.
24. Abdin AR, El Bakery AR, Mohamed MA. The role of nanotechnology in improving the efficiency of energy use with a special reference to glass treated with nanotechnology in office buildings. *Ain Shams Eng J*. 2018;9(4):2671–82.
25. Mustafa MN, Abdah MAAM, Numan A, Moreno-Rangel A, Radwan A, Khalid M. Smart window technology and its potential for net-zero buildings: A review. *Renew Sustain Energy Rev*. 2023;181:113355.
26. Gupta AD, Patil SZ. Potential Environmental Impacts of Nanoparticles Used in Construction Industry. *Ecol Heal Eff Build Mater*. 2022;159–83.
27. Konbr U, Mamdouh H. A proposed strategy to evaluate nanomaterials in construction to boost sustainable architecture. *Civ Eng Archit*. 2022;10(7):3206–26.
28. Application of nanotechnology in zero-energy buildings. 2025.
29. The number of articles on the application of nano in zero energy buildings.
30. Ruoff RS, Lorents DC. Mechanical and thermal properties of carbon nanotubes. *Carbon N Y*. 1995;33(7):925–30.
31. Lampert CM. Progress in switching windows. In: *Solar and Switching Materials*. SPIE; 2001. p. 95–103.
32. Sanusi O, Warzoha R, Fleischer AS. Energy storage and solidification of paraffin phase change material embedded with graphite nanofibers. *Int J Heat Mass Transf*. 2011;54(19–20):4429–36.
33. García-Quintero A, Palencia M. A critical analysis of environmental sustainability metrics applied to green synthesis of nanomaterials and the assessment of environmental risks associated with the nanotechnology. *Sci Total Environ*. 2021;793:148524.
34. Holechek JL, Geli HME, Sawalhah MN, Valdez R. A global assessment: can renewable energy replace fossil fuels by 2050? *Sustainability*. 2022;14(8):4792.
35. Hansen J, Sato M, Kharecha P, Von Schuckmann K, Beerling DJ, Cao J, et al. Young people's burden: requirement of negative CO₂ emissions. *Earth Syst Dyn*. 2017;8(3):577–616.
36. Xu Y, Ramanathan V. Well below 2 C: Mitigation strategies for avoiding dangerous to catastrophic climate changes. *Proc Natl Acad Sci*. 2017;114(39):10315–23.
37. Moghaddasi H, Culp C, Vanegas J, Ehsani M. Net zero energy buildings: Variations, clarifications, and requirements in response to the Paris Agreement. *Energies*. 2021;14(13):3760.
38. Bourdeau M, qiang Zhai X, Nefzaoui E, Guo X, Chatellier P. Modeling and forecasting building energy consumption: A review of data-driven techniques. *Sustain Cities Soc*. 2019;48:101533.
39. Trunina I, Pryakhina K, Yakymets S. Research on the development of renewable energy sources in the world due to the war in Ukraine. In: *2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*. IEEE; 2022. p. 1–5.
40. Gu D, Andreev K, Dupre ME. Major trends in population growth around the world. *China CDC Wkly*. 2021;3(28):604.
41. Ma Z, Arıcı M, Sun Y, Singh S, Shahsavari A. Towards net-zero energy/emission buildings for sustainable development. *Energy Sustain Dev*. 2024;80:101448.

42. Van Ruijven BJ, De Cian E, Sue Wing I. Amplification of future energy demand growth due to climate change. *Nat Commun.* 2019;10(1):2762.
43. Elaouzy Y, El Fadar A. Role of carbon tax in the widespread integration of sustainable strategies in buildings. *Build Environ.* 2023;234:110182.
44. Joof F, Samour A, Ali M, Rehman MA, Tursoy T. Economic complexity, renewable energy and ecological footprint: The role of the housing market in the USA. *Energy Build.* 2024;311:114131.
45. Chatterjee S, Molnár G, Kiss B, Topál D, Ürge-Vorsatz D. Navigating the transition: Modelling the path for net-zero European building sector. *Renew Sustain Energy Rev.* 2024;114827.
46. Yu Z, Gao C, Yang J, Wu J, Zhang H. Overview of research and development of nearly zero energy buildings in China. *Natl Sci Open.* 2024;3(3):20230083.
47. Tao Y, Rayegan R, Hasib A, Xiong G, Hasib N, TALELE S. A Review on International Research in Zero-Energy Buildings. *Anal Build Sustain Ecosyst.* 2016;
48. Li J, Gou Z. Addressing the development gap in net-zero energy buildings: A comparative study of China, India, and the United States. *Energy Sustain Dev.* 2024;79:101418.
49. Bravo-Hidalgo D, Baez-Hernandez A. Technologies of zero energies buildings. A review. *Ing y Compet.* 2019;21(2).
50. Saheb Y, Shnapp S, Johnson C. The Zero Energy concept: Making the whole greater than the sum of the parts to meet the Paris Climate Agreement's objectives. *Curr Opin Environ Sustain.* 2018;30:138–50.
51. Hosseini SE. An outlook on the global development of renewable and sustainable energy at the time of COVID-19. *Energy Res Soc Sci.* 2020;68:101633.
52. Dulian M. Revision of the Energy Performance of Buildings Directive–Fit for 55 package. *EU Legis Prog.* 2024;19(01):2024.
53. Kamel AS, Khamees EA elwahab, Abdallah Mahmoud Ahmed Alomari. Analytical study of the quality of the internal environment in the house according to the standards of the Jordanian Green Building. *J Archit art, Hum Sci.* 2021;0(0):0–0.
54. Sayadi S, Hayati A, Salmanzadeh M. Optimization of window-to-wall ratio for buildings located in different climates: An IDA-indoor climate and energy simulation study. *Energies.* 2021;14(7):1974.
55. Azmy NY, Azm ETAEL, Rizk AA, Mehanna WAEH. Using Nanotechnology to Achieve Sustainability in interior residential spaces. 2024;
56. Ashraf Ali N, Sadek S, Abdin A. A Review on Innovative Nanomaterials for Enhancing Energy Performance of the Building Envelope. *Curr Nanomater.* 2024;9(4):287–302.
57. Aburas M, Soebarto V, Williamson T, Liang R, Ebendorff-Heidepriem H, Wu Y. Thermochromic smart window technologies for building application: A review. *Appl Energy.* 2019;255:113522.
58. Kamalisarvestani M, Saidur R, Mekhilef S, Javadi FS. Performance, materials and coating technologies of thermochromic thin films on smart windows. *Renew Sustain Energy Rev.* 2013;26:353–64.
59. Meng W, Kragt AJJ, Hu X, van der Burgt JS, Schenning APHJ, Yue Y, et al. Photochromic Thermoelectric Smart Window for Season-Adaptive Solar Heat and Daylight Management. *Adv Funct Mater.* 2024;34(38):2402494.
60. Shao Z, Huang A, Cao C, Ji X, Hu W, Luo H, et al. Tri-band electrochromic smart window for energy savings in buildings. *Nat Sustain.* 2024;7(6):796–803.
61. Wang D, Chen G, Fu J. Multifunctional thermochromic smart windows for building energy saving. *J Mater Chem A.* 2024;12(22):12960–82.
62. Nundy S, Ghosh A. Thermal and visual comfort analysis of adaptive vacuum integrated switchable suspended particle device window for temperate climate. *Renew Energy.* 2020;156:1361–72.
63. Zhang Z, Zhang L, Xu J, He X, Yuan B, Chen C, et al. A novel dual-functional flexible dimming film for smart window applications: Energy saving and self-cleaning performance. *Chem Eng J.* 2024;488:150601.
64. Rashidzadeh Z, Heidari Matin N. A comparative study on smart windows focusing on climate-based energy performance and users' comfort attributes. *Sustainability.* 2023;15(3):2294.
65. Khan A, Sapakal S, Kadam A. In-Depth Study of Annealing Effect on Electrodeposited Titanium Dioxide (TiO₂) For Smart Windows Application. 2024;

66. Jiang C, He L, Xuan Q, Liao Y, Dai JG, Lei D. Phase-change VO₂-based thermochromic smart windows. *Light Sci Appl*. 2024;13(1):255.
67. De Matteis V, Cannavale A, Ayr U. Titanium dioxide in chromogenic devices: Synthesis, toxicological issues, and fabrication methods. *Appl Sci*. 2020;10(24):8896.
68. Yu P, He Z, Zhao Y, Song W, Miao Z. Flexible smart window with controllable visible transmittance and high near-infrared shielding properties doped by Cs_xWO₃/SiO₂-SH nanoparticles. *Sol Energy Mater Sol Cells*. 2025;282:113433.
69. Laurenti M, Bianco S, Castellino M, Garino N, Virga A, Pirri CF, et al. Toward plastic smart windows: optimization of indium tin oxide electrodes for the synthesis of electrochromic devices on polycarbonate substrates. *ACS Appl Mater Interfaces*. 2016;8(12):8032–42.
70. Kang I, Heung YY, Kim JH, Lee JW, Gollapudi R, Subramaniam S, et al. Introduction to carbon nanotube and nanofiber smart materials. *Compos Part B Eng*. 2006;37(6):382–94.
71. Qiao Y, Tang Z, Wu Z, Wang J, Sun X, Yu F, et al. VO₂-based colorful smart windows with self-cleaning function. *Sol Energy Mater Sol Cells*. 2024;274:113004.
72. Maharjan S, Liao KS, Wang AJ, Barton K, Haldar A, Alley NJ, et al. Self-cleaning hydrophobic nanocoating on glass: A scalable manufacturing process. *Mater Chem Phys*. 2020;239:122000.
73. Taherahmadi J, Noorollahi Y, Panahi M. Toward comprehensive zero energy building definitions: a literature review and recommendations. *Int J Sustain Energy*. 2021;40(2):120–48.
74. Sivanathan A, Dou Q, Wang Y, Li Y, Corker J, Zhou Y, et al. Phase change materials for building construction: An overview of nano-/micro-encapsulation. *Nanotechnol Rev*. 2020;9(1):896–921.
75. Gür M, Öztop HF, Selimefendigil F. Analysis of solar underfloor heating system assisted with nano enhanced phase change material for nearly zero energy buildings approach. *Renew Energy*. 2023;218:119265.
76. Said Z, Pandey AK, Tiwari AK, Kalidasan B, Jamil F, Thakur AK, et al. Nano-enhanced phase change materials: Fundamentals and applications. *Prog Energy Combust Sci*.
77. Thammadi SPD, Pisini SK. Nanotechnology and building construction: Towards effective stakeholder engagement. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing; 2022. p. 12074.
78. Feizbahr M. Nanotechnology in Construction: Innovations, Applications, and Impacts. 2024;6(1):35–41.
79. Yaseen AH, Ghazi A, Al-Hatem AI, Rajab AB, Bodnar N, Jasim WA, et al. Nanostructured Materials in Sustainable Construction: A Comprehensive Review of Durability, Thermal Efficiency, and Environmental Impact. *J Nanostructures*. 2024;14(4):1082–96.
80. Hosny I, Anous I. Nanomaterials and their applications in interior design. *Am Int Res Humanit Arts Soc Sci*. 2014;16–27.
81. Basauny M, A. EL Kattan A, S. Atwa M. Applications of Nanotechnology in Architecture. *J Al-Azhar Univ Eng Sect*. 2019;14(53):1729–39.
82. Hu X, Zhu X, Sun Z. Fireproof performance of the intumescent fire retardant coatings with layered double hydroxides additives. *Constr Build Mater*. 2020;256:119445.
83. Krystek M, Górski M. Nanomaterials in structural engineering. *New uses micro Nanomater*. 2018;
84. Meliță L, Calotă R, Amăreanu M. Silica Aerogel-Incorporated Cement and Lime Plasters for Building Insulation: An Experimental Study. *Buildings*. 2024;14(8):2300.
85. Onyelowe KC, Ebid AM, Riofrio A, Baykara H, Soleymani A, Mahdi HA, et al. Multi-objective prediction of the mechanical properties and environmental impact appraisals of self-healing concrete for sustainable structures. *s Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published ...*; 2022.
86. Safavigerdini K, Surya R, Reinhard A, Quinlan Z, Bunyak F, Maschmann MR, et al. Creating semi-Quanta multi-layer synthetic CNT images using CycleGAN. In: *2023 IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR)*. IEEE; 2023. p. 1–6.
87. Seifan M, Sarmah AK, Ebrahiminezhad A, Ghasemi Y, Samani AK, Berenjian A. Bio-reinforced self-healing concrete using magnetic iron oxide nanoparticles. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2018;102:2167–78.
88. Manal R, Ahmed M. Nanomaterials and its Impact on the Quality of the Internal Environment for Sustainable Interior Design Abstract: Keywords: Introduction: 2022;328–42.

89. Trejo-Arroyo DL, Pech-Núñez D, Cruz JC, Arriaga LG, Vega-Azamar RE, Gurrolal MP. Nanomaterials Applied in the Construction Industry. In: *Nanochemistry*. CRC Press; 2023. p. 396–412.
90. Vijayaram S, Razafindralambo H, Sun YZ, Vasantharaj S, Ghafarifarsani H, Hoseinifar SH, et al. Applications of green synthesized metal nanoparticles—a review. *Biol Trace Elem Res*. 2024;202(1):360–86.
91. De A. Nanomaterial Synthesis from End-of-Cycle Products: A Sustainable Way of Waste Valorisation. *ChemBioEng Rev*. 2022;9(4):337–50.
92. Sourkouni G, Argirusis C, Argirusis N. Recycling of Surface-Functionalized Nanoparticles—A Short Review. *Processes*. 2024;12(11):2354.
93. Ainomugisha S, Matovu M, Manga M. Application of green agro-based nanoparticles in cement-based construction materials: a systematic review. *J Build Eng*. 2024;108955.
94. Liu Z, Chen Z, Wang Z, Zhang D, Ni BJ. Recycling and repurposing of waste carbon nanofiber polymers: a critical review. *Environ Sci Nano*. 2024;
95. Abedi F, Dubé MA, Kruczek B. Adsorption of heavy metals on the surface of nanofiltration membranes: “A curse or blessing”? *J Memb Sci*. 2023;685:121988.
96. Pallewatta S, Weerasooriyagedara M, Bordoloi S, Sarmah AK, Vithanage M. Reprocessed construction and demolition waste as an adsorbent: An appraisal. *Sci Total Environ*. 2023;882:163340.
97. Kim M, Goerzen D, Jena P V, Zeng E, Pasquali M, Meidl RA, et al. Human and environmental safety of carbon nanotubes across their life cycle. *Nat Rev Mater*. 2024;9(1):63–81.
98. Liu JY, Sayes CM. A toxicological profile of silica nanoparticles. *Toxicol Res (Camb)*. 2022;11(4):565–82.
99. Taghavi SM, Momenpour M, Azarian M, Ahmadian M, Souri F, Taghavi SA, et al. Effects of nanoparticles on the environment and outdoor workplaces. *Electron physician*. 2013;5(4):706.
100. Mart G, Merinero M, Mar E, Ortiz T, Villamor E, Alcludia A. Environmental Impact of Nanoparticles ’ Application as an Emerging Technology : A Review. 2021;1–26.
101. Mohajerani A, Burnett L, Smith J V, Kurmus H, Milas J, Arulrajah A, et al. Nanoparticles in construction materials and other applications, and implications of nanoparticle use. *Materials (Basel)*. 2019;12(19):3052.



Strategies for Promoting Citizen Participation and Investment in Tehran's Urban Management: Examining Obstacles, Opportunities, and Successful Experiences

Ali Hayatnia^{1*} | Nafiseh Sadat Mirnezami²

1. Corresponding Author, PhD in Economics, Researcher in Urban and Regional Economics. Email: alihayatni@gmail.com
2. PhD researcher in International Economics, Shiraz University. Email: nafisehmirnezami1996@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 01 June 2025
Revised 02 July 2025
Accepted 11 August 2025
Published Online 11 September 2025

Keywords:
Successful experiences,
Tehran,
Urban investment,
Citizen participation,
Urban management.

ABSTRACT

In recent years, urban management—especially in the metropolis of Tehran—has encountered numerous challenges, including reduced financial resources, rising citizen dissatisfaction, and weaknesses in effectively fostering public participation. This article has been prepared with the aim of examining the main barriers, identifying relevant opportunities, and offering appropriate solutions for enhancing citizen engagement and attracting greater investment in Tehran's urban governance. The research method is qualitative and descriptive-analytical in nature, and the required data were collected through the review of relevant documents, comparative urban studies, and the analysis of successful experiences in similar cities around the world. The findings of this study indicate that a lack of transparency, inefficiency in communication structures with citizens, and the absence of proper economic incentives are among the most significant and recurring obstacles. On the other hand, the broad potential of modern technologies, global experiences in participatory budgeting, and investors' growing interest in infrastructure-related projects have been identified as key opportunities.

Cite this article: Hayatnia, A. & Mirnezami, N. (2026). Strategies for Promoting Citizen Participation and Investment in Tehran's Urban Management: Examining Obstacles, Opportunities, and Successful Experiences. *Urban Development Policy Making*, 2 (4), 445-464. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.531727.1051>



© Ali Hayatnia, Nafiseh Sadat Mirnezami
DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.531727.1051>

Introduction

According to the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD, 2020), more than half of the world's population resides in cities, and this proportion is projected to reach approximately 70% by 2050. The rapid growth of urban populations and the increasing demand for public services in metropolitan areas have confronted urban management with multiple challenges, including limited resources, the complexity of social issues, and declining citizen satisfaction.

The rising costs of municipal and local government operations, coupled with the continuous expansion of urbanization, have brought "citizen participation" to the forefront of policy-making literature and the attention of scholars and practitioners worldwide. Active citizen engagement is not only regarded as one of the core pillars of democracy but also plays a crucial role in enhancing the quality of urban governance. In this regard, two key components to overcoming the aforementioned challenges are: (1) effective citizen participation in decision-making processes and (2) attracting private sector investment into urban projects.

However, in Tehran, the structure of urban management remains highly centralized, and public participation in planning and project implementation is still limited. Legal and economic barriers have further hindered the effective involvement of investors in infrastructure and service sectors. In other words, despite the growing emphasis on modern concepts of urban governance and the active participation of citizens in local decision-making, the centralized structure of Tehran's urban management continues to be a major obstacle to achieving these goals. The concentration of authority at higher managerial levels, the absence of efficient mechanisms for public engagement, and the lack of appropriate institutional frameworks have resulted in a minimal role for citizens in the planning, decision-making, and implementation stages of urban projects. This situation not only reduces the efficiency and legitimacy of urban decisions but also prevents the utilization of citizens' social and economic capacities in the urban development process. Under such circumstances, revisiting management structures, strengthening local institutions, and developing participatory mechanisms—particularly within the framework of participatory urban economics policies—appear essential. Therefore, the aim of this paper is to analyze the current situation, identify barriers and opportunities, and propose practical strategies for enhancing citizen participation and investment in Tehran.

Research Methodology and Materials

This research adopts a descriptive–analytical approach. In the first stage, the theoretical literature was reviewed, and the conceptual framework of the study was developed using the documentary method. In the fieldwork stage, the required data will be collected from the target population through interviews and surveys conducted among managers and experts in the field of urban economics. The following methods have been employed for data collection:

- Reviewing the documents and programs of Tehran Municipality and the City Council
- Analyzing related domestic and international reports
- Conducting semi-structured interviews with 13 urban management experts, executive managers, and investors active in urban projects
- Comparative analysis of the experiences of successful cities worldwide

For data analysis, the fuzzy Delphi method was employed.

The research questionnaire was designed based on the content analysis of theoretical literature, municipal documents, and global experiences. The theoretical foundations presented in the introduction and literature review—such as the OECD (2020) international reports, domestic studies, and the challenges identified in Tehran's urban management structure provided the initial framework for questionnaire design. In addition, findings from semi-structured interviews with urban managers, experts, and investors were used to extract various aspects of the issue from a field perspective and incorporate them into the questionnaire items.

The questionnaire focused on key themes, including citizen participation, institutional and economic barriers, the structure of urban management, and strategies for enhancing participatory governance. After drafting the initial version of the questionnaire, a preliminary version was shared with several experts, and based on their feedback, it was revised to ensure content validity and alignment with the research objectives.

In this study, content validity was assessed through expert opinions, collected via questionnaires and in-person interviews. To examine construct validity, a pilot test of the questionnaire was conducted.

Results

The findings of this study indicate that enhancing citizen participation and attracting private investment are two key components in strengthening urban governance and achieving sustainable development in Tehran. Barriers such as the centralized structure of urban management, weak local institutions, insufficient digital infrastructure, and the absence of transparent legal frameworks constitute the main challenges to effective citizen engagement and active private sector involvement in urban projects. Accordingly, a set of policy recommendations is proposed to address these barriers and strengthen participatory and investment processes.

Discussion and Conclusion

In terms of promoting citizen participation, essential measures include developing online voting systems and digital platforms, activating local councils with real decision-making powers, institutionalizing participatory budgeting within the municipality, and providing public education on urban rights.

In the area of investment attraction, the reform of laws and regulations related to public–private partnerships (PPPs) is of high importance, as creating transparent legal frameworks increases investment security. Additionally, establishing a one-stop urban investment window can streamline administrative procedures and reduce bureaucracy. Developing financial incentive packages for priority projects—particularly in the renovation of deteriorated urban fabrics—and utilizing innovative tools such as crowdfunding platforms can diversify funding sources for urban development and enhance the participation of both the private sector and citizens in urban investment.



راهکارهای ارتقای مشارکت شهروندی و سرمایه‌گذاری در مدیریت شهری تهران: بررسی موانع، فرصت‌ها و تجارب موفق

علی حیات‌نیا^{۱*} | نفیسه سادات میرنظامی^۲

۱. نویسنده مسئول، دکتری علوم اقتصادی، پژوهشگر اقتصاد شهری و منطقه‌ای. رایانامه: alihayatni@gmail.com

۲. پژوهشگر مقطع دکتری اقتصاد بین‌الملل دانشگاه شیراز. رایانامه: nafisehmirezami1996@gmail.com

چکیده

در سال‌های اخیر، مدیریت شهری به‌ویژه در کلان‌شهر تهران با چالش‌های متعددی از جمله کاهش منابع مالی، نارضایتی شهروندان و ضعف در جلب مشارکت عمومی روبه‌رو بوده است. این مقاله با هدف بررسی موانع، شناسایی فرصت‌ها و ارائه راهکارهای ارتقای مشارکت شهروندی و جذب سرمایه‌گذاری در مدیریت شهری تهران تهیه و تدوین شده است. روش تحقیق، کیفی از نوع توصیفی - تحلیلی بوده و داده‌ها از طریق بررسی اسناد، مطالعات تطبیقی و تحلیل تجارب موفق شهرهای مشابه گردآوری شده است. یافته‌های این پژوهش نشان‌دهنده آن است که ضعف در شفافیت، ناکارآمدی ساختارهای ارتباطی با شهروندان و ضعف در مشوق‌های اقتصادی، از مهم‌ترین موانع موجود هستند. در مقابل، ظرفیت‌های گسترده فناوری‌های نوین، تجربه‌های جهانی در بودجه‌ریزی مشارکتی، و تمایل سرمایه‌گذاران به پروژه‌های زیرساختی، به عنوان فرصت‌های کلیدی شناسایی شدند.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰

کلیدواژه:

تجارب موفق،

تهران،

سرمایه‌گذاری شهری،

مشارکت شهروندی،

مدیریت شهری.

استناد: حیات‌نیا، علی و میرنظامی، نفیسه سادات (۱۴۰۴). راهکارهای ارتقای مشارکت شهروندی و سرمایه‌گذاری در مدیریت شهری تهران: بررسی موانع، فرصت‌ها و تجارب موفق. *سیاست‌گذاری پیشرفت شهری*، ۲ (۴) ۴۴۵-۴۶۴.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.531727.1051>

© علی حیات‌نیا، نفیسه سادات میرنظامی

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.531727.1051>



۱. مقدمه

مطابق گزارش سازمان توسعه و همکاری اقتصادی^۱ (۲۰۲۰)، بیش از ۵۰ درصد از جمعیت در سطح جهان در شهرها هستند و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ به ۷۰ درصد برسد. با رشد شتابان جمعیت شهری و افزایش نیازهای خدماتی در کلان‌شهرها، مدیریت شهری با چالش‌های متعددی از جمله محدودیت منابع، پیچیدگی مسائل اجتماعی و عدم رضایت شهروندان مواجه شده است [۱].

همچنین، رشد هزینه‌های شهرداری‌ها و دولت‌های محلی در کنار گسترش روزافزون شهرنشینی، باعث شده است که مشارکت شهروندان به عنوان یک موضوع مهم در ادبیات نظری و اجرایی سیاست‌گذاران و اندیشمندان جهانی مورد توجه قرار گیرد؛ چراکه مشارکت فعال شهروندان یکی از ارکان اصلی دموکراسی به شمار می‌رود و نقش مؤثری در ارتقای کیفیت آن ایفا می‌کند [۲]. یکی از مؤلفه‌های کلیدی برای حل این چالش‌ها، مشارکت مؤثر شهروندان در فرایندهای تصمیم‌سازی و همچنین، جذب سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در طرح‌های شهری است.

در تهران، با وجود ساختار متمرکز مدیریت شهری، میزان مشارکت عمومی در برنامه‌ریزی‌ها و اجرای پروژه‌ها همچنان محدود است [۳]. از سوی دیگر، موانع متعدد حقوقی و اقتصادی مانع از ورود مؤثر سرمایه‌گذاران به حوزه‌های زیرساختی و خدماتی شهر شده‌اند. به بیان دیگر، با وجود گسترش مفاهیم نوین حکمرانی شهری و تأکید بر مشارکت فعال شهروندان در فرایندهای تصمیم‌گیری محلی، ساختار متمرکز مدیریت شهری در تهران همچنان مانعی اساسی در مسیر تحقق این هدف به شمار می‌رود. تمرکز اختیارات در سطوح بالایی مدیریتی، نبود سازوکارهای کارآمد برای جلب مشارکت عمومی، و فقدان بسترهای نهادی مناسب موجب شده است که شهروندان نقش حداقلی در مراحل برنامه‌ریزی، تصمیم‌سازی و اجرای پروژه‌های شهری ایفا کنند. این وضعیت، علاوه بر کاهش کارایی و مشروعیت تصمیمات شهری، مانع از بهره‌برداری از ظرفیت‌های اجتماعی و اقتصادی شهروندان در فرایند توسعه شهری می‌شود. در چنین شرایطی، بازنگری در ساختارهای مدیریتی، تقویت نهادهای محلی، و توسعه مکانیزم‌های مشارکت‌محور، به‌ویژه در قالب سیاست‌های اقتصاد شهری و مشارکتی، ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین هدف این مقاله، تحلیل وضعیت موجود، شناسایی موانع و ظرفیت‌ها، و ارائه راهکارهای کاربردی برای ارتقای مشارکت شهروندی و سرمایه‌گذاری در تهران است.

مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده است. از جمله می‌توان به پژوهش حبیبی و همکاران (۱۳۹۹) [۴] در مورد موانع سرمایه‌گذاری در طرح‌های شهری تهران، به مطالعه موسوی و دهقان (۱۴۰۰) [۵] درباره مدل‌های بودجه‌ریزی مشارکتی در ایران اشاره کرد. همچنین، گزارش‌های بین‌المللی مانند «مشارکت شهروندان در مدیریت شهری»^۲ توسط برنامه اسکان بشر سازمان ملل متحد (۲۰۱۹) مبانی نظری جامعی برای تحلیل مشارکت عمومی ارائه داده‌اند.

حبیبی و همکاران (۱۳۹۹) [۴] در پژوهشی درباره «موانع سرمایه‌گذاری در مدیریت شهری تهران»، مشکلات حقوقی، بروکراسی پیچیده، و نبود تضمین بازگشت سرمایه را اصلی‌ترین چالش‌ها دانسته‌اند. موسوی و دهقان (۱۴۰۰) [۵] در مقاله‌ای با عنوان «بودجه‌ریزی مشارکتی در ایران و تجارب جهانی» پیشنهاد داده‌اند که پیاده‌سازی این مدل می‌تواند موجب بهبود توزیع منابع و افزایش اعتماد اجتماعی شود.

گزارش برنامه اسکان بشر سازمان ملل متحد (۲۰۱۹) [۶]، تأکید دارد که پیاده‌سازی فرایندهای شفاف و باز برای مشارکت، به‌ویژه از طریق فناوری‌های نوین، مهم‌ترین ابزار اعتمادسازی میان مردم و نهادهای شهری است.

همچنین، تجربه‌های جهانی مانند «Decidim» در بارسلونا، صندوق مشارکت در سئول، و مشارکت‌های PPP در استانبول، در قالب پروژه‌های شهری موفق ثبت شده‌اند و می‌توانند به عنوان مبنایی برای تطبیق و بومی‌سازی در تهران مورد استفاده قرار گیرند.

1. OECD

2. Citizen Participation in Urban Governance

۲. ادبیات نظری

۲-۱. مشارکت شهروندی در مدیریت شهری

مشارکت شهروندان در مدیریت شهری، به معنای حضور داوطلبانه، آگاهانه و سازمان‌یافته افراد در فرایندهای تصمیم‌سازی، تصمیم‌گیری، نظارت و ارزیابی برنامه‌های شهری است [۷-۸]. این مفهوم، در دهه‌های اخیر به یکی از ارکان اصلی حکمرانی خوب شهری تبدیل شده است و بسیاری از نهادهای بین‌المللی همچون برنامه اسکان بشر سازمان ملل متحد، آن را شاخصی از توسعه پایدار شهری می‌دانند [۶-۷].

مشارکت شهروندی به عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی حکمرانی خوب^۱ در دهه‌های اخیر، توجه گسترده‌ای را در مباحث مدیریت شهری به خود جلب کرده است. نظریه‌پردازان حوزه دموکراسی مشارکتی مانند آرنشتاین (۱۹۶۹) با ارائه مدل «نردبان مشارکت»^۲، سطوح مختلف مشارکت را از «اطلاع‌رسانی» تا «کنترل شهروندی» طبقه‌بندی کرده‌اند. در این چارچوب، مشارکت واقعی تنها در سطوح بالاتر مانند مشارکت تصمیم‌گیرانه یا مشارکت اجرایی معنا می‌یابد.

در نظریه «نردبان مشارکت» آرنشتاین، مشارکت به هشت سطح طبقه‌بندی شده است که از اطلاع‌رسانی (سطح پایین) تا کنترل کامل شهروندی (سطح بالا) را شامل می‌شود. در این چارچوب، مشارکت واقعی تنها در سطوح بالاتر یعنی مشارکت اجرایی، تصمیم‌گیرانه و نظارتی معنا می‌یابد [۹-۱۰]. این مدل، سطوح مشارکت را در قالب ۸ پله و در سه دسته کلی تقسیم می‌کند:

جدول ۱. نردبان مشارکت شهروندی آرنشتاین (۱۹۶۹) [۷]

شرح	سطح مشارکت	دسته اصلی
استفاده ابزاری از مشارکت برای توجیه تصمیمات از پیش گرفته شده	دستکاری (Manipulation)	غیرمشارکتی (Non-Participation)
مشارکت صرفاً برای اصلاح نگرش شهروندان بدون تأثیر بر سیاست‌ها	درمان‌گری (Therapy)	غیرمشارکتی (Non-Participation)
آگاه‌سازی یک‌سویه بدون امکان بازخورد مؤثر	اطلاع‌رسانی (Informing)	مشارکت نمادین (Tokenism)
شنیدن نظرات مردم بدون تعهد به اجرا یا پاسخ‌گویی	مشاوره (Consultation)	مشارکت نمادین (Tokenism)
اجازه دادن به برخی گروه‌ها برای اظهارنظر، اما بدون قدرت تصمیم‌گیری واقعی	رضایت‌گیری (Placation)	مشارکت نمادین (Tokenism)
تقسیم قدرت تصمیم‌گیری میان نهادهای عمومی و شهروندان	مشارکت شراکتی (Partnership)	مشارکت واقعی (Citizen Power)
انتقال بخشی از قدرت و اختیار به نهادهای مردمی	تفویض اختیار (Delegated Power)	مشارکت واقعی (Citizen Power)
شهروندان کنترل کامل بر سیاست‌گذاری، اجرا و ارزیابی دارند.	کنترل شهروندی (Citizen Control)	مشارکت واقعی (Citizen Power)

در مدل آرنشتاین، سطوح ۶ تا ۸ بیانگر مشارکت واقعی هستند که در آن شهروندان تأثیر ملموس و تصمیم‌ساز دارند. سطوح ۳ تا ۵ مشارکت نمادین محسوب می‌شوند و اگرچه به نظر می‌رسد مشارکت وجود دارد، اما قدرت واقعی در دست مدیریت باقی می‌ماند. سطوح ۱ و ۲ در واقع مشارکت نیستند و به صورت ابزاری یا نمایشی برای نمایش مشارکت مورد استفاده قرار می‌گیرند (نمودار ۱).

در مدیریت شهری، مشارکت می‌تواند در شکل‌های مختلفی از جمله بودجه‌ریزی مشارکتی^۳ شوراهای محلی، فرایندهای مشورتی عمومی، کمپین‌های بازخورد و نظارت شهروندی^۴ بروز کند. مشارکت مؤثر شهروندان موجب افزایش رضایت اجتماعی، مشروعیت تصمیمات، شفافیت مالی و کاهش فساد اداری می‌شود [۶].

1. Good Governance
2. Ladder of Participation
3. Participatory Budgeting
4. Social Accountability

نظریه سیستم‌های باز در مدیریت شهری نیز بر ضرورت تعامل مؤثر میان مدیریت شهری و محیط پیرامونی تأکید دارد؛ مشارکت شهروندان یکی از ابزارهای اصلی این تعامل است. افزون بر آن، رویکردهای توسعه محله‌محور^۱ نیز بر ظرفیت‌سازی در سطح محلات و واگذاری بخشی از تصمیم‌سازی‌ها به نهادهای محلی تأکید دارند.

از منظر نظریه سیستم‌های باز در مدیریت شهری، مشارکت ابزار تعامل پیوسته میان مدیریت شهری و محیط پیرامون است. این نظریه بر لزوم ورود مؤثر بازیگران اجتماعی متنوع در فرایند سیاست‌گذاری شهری تأکید دارد [۱۱]. در همین راستا، رویکردهای توسعه محله‌محور، با تأکید بر توانمندسازی ساکنان محلات، بر لزوم واگذاری بخشی از فرایندهای اجرایی به نهادهای محلی همچون انجمن‌های ساکنان، شوراهای اجتماعی و گروه‌های داوطلبانه تأکید می‌کنند [۱۲].

مشارکت شهروندی می‌تواند از طریق مکانیسم‌هایی همچون بودجه‌ریزی مشارکتی، شوراهای محلی، کمیته‌های محله، سامانه‌های شکایات و نظارت همگانی تحقق یابد [۱۳-۱۴]. تجارب جهانی از شهرهایی مانند سئول، پاریس، آمستردام و بارسلونا نشان می‌دهد حضور فعال مردم در تصمیم‌گیری‌های محلی به افزایش رضایتمندی عمومی، کاهش فساد اداری، شفافیت مالی، و ارتقای کارآمدی خدمات شهری منجر شده است [۱۴-۱۵].

در ایران، تجربه‌هایی نظیر شوراهای محله در تهران، سامانه ۱۳۷، و برنامه تهران هوشمند، تلاش‌هایی در راستای ارتقای مشارکت عمومی بوده‌اند، اما این اقدامات با چالش‌هایی همچون ضعف ساختارهای حقوقی، تمرکزگرایی، و محدودیت منابع مواجه‌اند [۱۵-۱۶].



نمودار ۱. نردبان مشارکت شهروندی آرنشتاین

۲-۲. سرمایه‌گذاری در پروژه‌های شهری

سرمایه‌گذاری در پروژه‌های شهری یکی از الزامات بنیادین توسعه پایدار و نوسازی زیرساخت‌های شهری است. شهرها به عنوان محرک‌های اصلی توسعه اقتصادی، نیازمند منابع مالی گسترده برای اجرای پروژه‌هایی همچون حمل‌ونقل عمومی، مدیریت پسماند، توسعه فضاهای عمومی، و ارتقای کیفیت زندگی شهروندان هستند [۱۷-۱۸].

به دلیل محدودیت منابع دولتی و بودجه‌های عمومی، الگوهای نوین تأمین مالی شهری از جمله مشارکت عمومی - خصوصی (PPP) در بسیاری از کشورها توسعه یافته‌اند. این مدل‌ها با تقسیم مسئولیت میان دولت و بخش خصوصی، امکان بهره‌گیری از منابع و ظرفیت‌های دو طرف را فراهم می‌سازند [۱۹-۲۰]. در این الگوها، نوع قرارداد، میزان ریسک‌پذیری، دوره بهره‌برداری، و نرخ بازگشت سرمایه به صورت دقیق مشخص می‌شود. قراردادهای BOT، BOO، DBFO، و لیزینگ مالی از رایج‌ترین قالب‌های این مشارکت هستند [۲۱].

نظریه هزینه فرصت نیز اهمیت به کارگیری منابع غیردولتی را در سرمایه‌گذاری‌های شهری تبیین می‌کند؛ زیرا در صورت عدم بهره‌گیری از ظرفیت‌های بخش خصوصی، دولت‌ها ممکن است با هزینه‌های بالاتر و زمان اجرای طولانی‌تری مواجه شوند. همچنین، نظریه‌های نهادگرایی، بر اهمیت اعتماد نهادی، شفافیت حقوقی و وجود تضمین‌های اجرایی برای جذب سرمایه‌گذاران تأکید دارند [۲۲].

در سال‌های اخیر، مدل‌های نوآورانه‌ای مانند تأمین مالی جمعی^۱ اوراق قرضه سبز^۲، سرمایه‌گذاری مسئولانه و سرمایه‌گذاری تأثیرگذار^۳ در کشورهای توسعه‌یافته برای پروژه‌های شهری به کار گرفته شده‌اند [۶]. این ابزارها علاوه بر بازده مالی، اهداف اجتماعی و زیست‌محیطی را نیز دنبال می‌کنند، به طوری که در سال‌های اخیر، شهر تهران نیز با هدف ارتقای مشارکت شهروندی و جذب سرمایه‌گذاری در مدیریت شهری، برنامه‌های نوآورانه‌ای مانند «برنامه تهران هوشمند» اجرا کرده است. این برنامه با بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال، به دنبال ایجاد زیرساخت‌هایی برای مشارکت فعال شهروندان در فرایندهای تصمیم‌گیری و اجرای پروژه‌های شهری است. با این حال، چالش‌هایی مانند ساختار متمرکز مدیریت شهری، نبود چارچوب‌های قانونی مشخص برای مشارکت عمومی - خصوصی، و محدودیت‌های مالی، مانع از تحقق کامل این اهداف شده‌اند [۶].

در ایران با وجود ظرفیت‌های فنی و انسانی، موانعی مانند نوسانات اقتصادی، ضعف قوانین مشارکت عمومی خصوصی، و پیچیدگی‌های اداری، ریسک سرمایه‌گذاری را بالا برده‌اند [۱۵]. با این حال، اقداماتی نظیر تصویب دستورالعمل‌های سرمایه‌گذاری شهری، ایجاد صندوق پروژه‌های شهری و برنامه‌های شهر هوشمند، گام‌هایی اولیه در اصلاح ساختار تأمین مالی شهری محسوب می‌شوند [۲۳].

اقتصاد شهری، حوزه‌ای چندبعدی است که موضوعاتی همچون نقش بازار، تخصیص زمین، ساختار مناطق شهری، مسائل اجتماعی، سیاست‌های مسکن و ساختار مالیات‌های محلی را در بر می‌گیرد و چارچوبی برای تحلیل پویایی‌های اقتصادی شهر فراهم می‌سازد [۱۷]. از سوی دیگر، تأمین سرمایه پایدار برای پروژه‌های شهری، به‌ویژه در حوزه‌هایی نظیر حمل‌ونقل، خدمات و مسکن، از ارکان رشد شهری محسوب می‌شود [۲۴].

با توجه به محدودیت منابع دولتی و ناکارآمدی ساختارهای سنتی، بسیاری از کشورها به سمت مدل‌های مشارکت عمومی - خصوصی (PPP) حرکت کرده‌اند. این مدل‌ها با تعریف شفاف تعهدات و اختیارات هر طرف، امکان مشارکت بخش خصوصی در تأمین، ساخت و بهره‌برداری از پروژه‌های شهری را فراهم کرده و به ارتقای کیفیت خدمات و افزایش بهره‌وری منجر شده‌اند [۱۹].

نظریه‌های اقتصادی کلاسیک و نهادگرایی، بر نقش مشوق‌های اقتصادی، اعتماد نهادی و تضمین بازگشت سرمایه در جذب سرمایه‌گذاران تأکید دارند. در این زمینه، مدل‌های قراردادهای BOT^۴، BOO^۵، DBFO^۶، و لیزینگ مالی در پروژه‌های شهری به کار گرفته می‌شوند. مؤسسات بین‌المللی نظیر بانک جهانی (۲۰۲۱)، [۲۰] و بانک توسعه آسیا و توسعه صنعتی ملل متحد دستورالعمل‌هایی برای پیاده‌سازی صحیح این مدل‌ها ارائه کرده‌اند [۲۱].

از سوی دیگر، نظریه هزینه - فرصت^۷ نیز در تحلیل تصمیمات سرمایه‌گذاری شهری اهمیت دارد؛ اگر شهرداری‌ها نتوانند از منابع خصوصی بهره بگیرند، ممکن است با صرف هزینه‌های بالاتری پروژه‌ها را اجرا کنند یا اساساً از انجام پروژه صرف‌نظر شود.

۲-۳. تجارب موفق جهانی

در دهه‌های اخیر با توجه به تجارب بین‌المللی موضوع «مشارکت شهروندان» به رویکردی مؤثر برای ارتقای اثربخشی سیاست‌گذاری‌های محلی در فرایندهای برنامه‌ریزی و توسعه شهری و به عنوان یکی از اصول بنیادین «حکمرانی خوب» تبدیل شده است [۲۵]. این مشارکت نه تنها زمینه‌ساز شفافیت و رضایت عمومی است، بلکه نقش مهمی در تسهیل جذب سرمایه‌گذاری ایفا

1. Crowdfunding
2. Green Bonds
3. Impact Investment
4. Build-Operate-Transfer
5. Build-Own-Operate
6. Design, Build, Finance, Operate
7. Opportunity Cost Theory

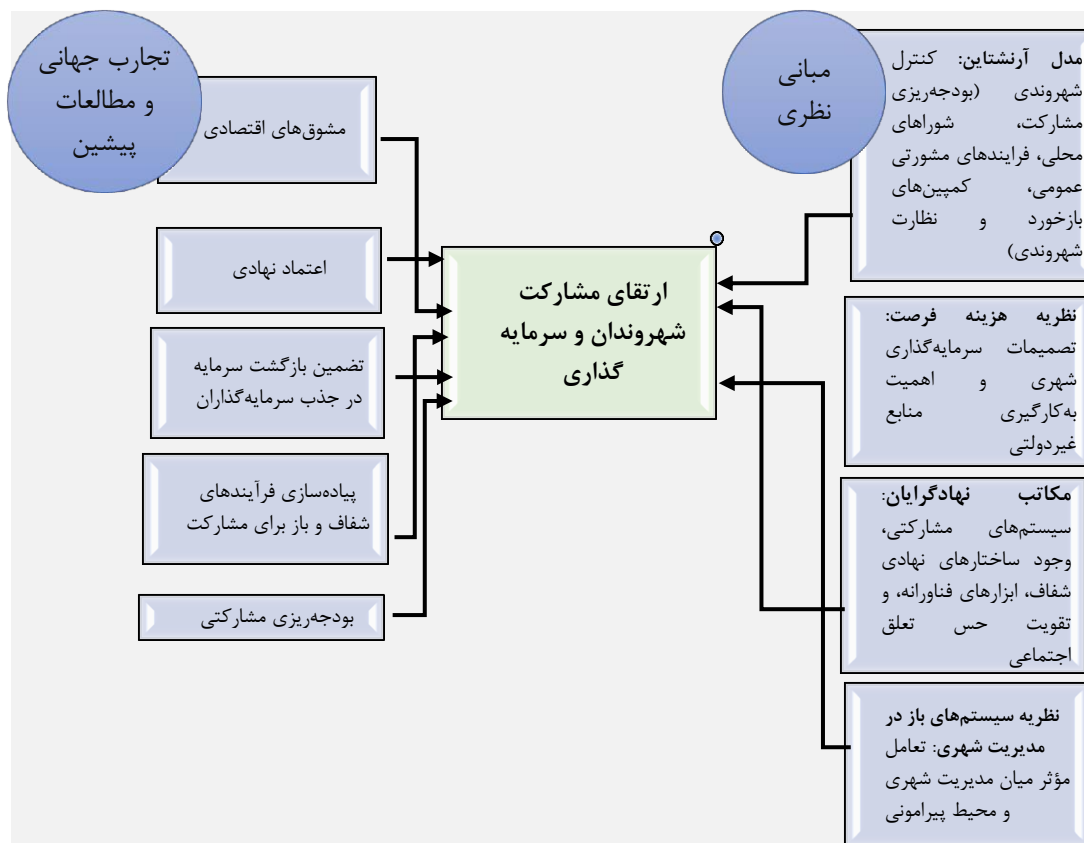
می‌کند. به عنوان مثال، شهر برلین در پاسخ به چالش‌هایی همچون نابرابری فضایی، کاهش اعتماد عمومی و نیاز به بازسازی مناطق شرقی پس از اتحاد آلمان، طی دو دهه گذشته مدل بودجه‌ریزی مشارکتی محله‌محور را طراحی و اجرایی کرده است. در این مدل، شهروندان در تعیین اولویت‌های تخصیص بخشی از بودجه عمومی مشارکت دارند [۲۶]. این تجارب بیانگر آن هستند که مشارکت مؤثر مردم، هنگامی که با ساختار نهادی شفاف و بستر فناورانه همراه شود، می‌تواند به ارتقای عدالت اجتماعی، افزایش سرمایه‌گذاری و کارآمدی خدمات شهری بینجامد. جدول ۲ تجارب موفق مشارکت شهری و سرمایه‌گذاری را نشان می‌دهد.

جدول ۲. تجارب موفق مشارکت شهری و سرمایه‌گذاری

منبع	نتایج مهم	نوع تجربه	شهر / کشور
[۲۶]	افزایش اعتماد عمومی و پاسخ‌گویی شهری	بودجه‌ریزی مشارکتی در محلات	برلین / آلمان
[۳۷]	جذب سرمایه و ارتقای سرمایه اجتماعی	پلتفرم دیجیتال مشارکتی (شهر هوشمند)	بارسلونا / اسپانیا
[۳۸]	احیای محلات و افزایش سرمایه‌گذاری خصوصی	بازآفرینی فرهنگی - اقتصادی با مشارکت عمومی - خصوصی	سنول / کره جنوبی
[۲۵]	افزایش مشارکت اقشار کم‌برخوردار	تخصیص دموکراتیک بودجه محلی	پورتو آگره / برزیل
[۱۳]	حس تعلق و توانمندسازی جوامع محلی	صندوق‌های سرمایه‌گذاری شهروندی	کپنهاگ / دانمارک
[۲۸]	تأمین مالی پروژه‌های نوسازی با حفظ عدالت اجتماعی	نوسازی محلات با مشارکت بخش خصوصی	لندن / انگلستان
[۳۳]	کاهش هزینه‌های عمومی و مشارکت شهروندی در طراحی شهری	جمع‌سپاری شهری و بازطراحی فضاهای عمومی	آمستردام / هلند
[۳۰]	دسترسی بهتر به اطلاعات پروژه‌ها و مشارکت آگاهانه	مشارکت دیجیتال در طرح‌های توسعه محلی	تورنتو / کانادا
[۳۵]	ارتقای وضعیت اجتماعی و کاهش تعارض‌های شهری	مشارکت جوامع غیررسمی در برنامه‌ریزی شهری	مومبای / هند
[۳۲]	توانمندسازی محلات کم‌درآمد در بازسازی پس از بحران	برنامه‌های بازسازی مبتنی بر مشارکت محله‌ای	نیویورک / آمریکا
[۳۲]	کاهش نابرابری فضایی و بهبود حکمرانی محلی	تدوین چارچوب عدالت فضایی با مشارکت مردم	کیپ‌تاون / آفریقای جنوبی

۲-۴. الگوی نظری پیشنهادی

با توجه به تجارب موفق جهانی در زمینه مشارکت شهروندان و جذب سرمایه‌گذاری در توسعه شهری، می‌توان دریافت که کلید موفقیت در ایجاد سیستم‌های مشارکتی، وجود ساختارهای نهادی شفاف، ابزارهای فناورانه، و تقویت حس تعلق اجتماعی در میان ساکنان شهر است. شهر تهران به عنوان یکی از کلان‌شهرهای در حال توسعه با چالش‌هایی همچون تمرکزگرایی، ضعف نهادهای محلی، و مشارکت محدود مردمی مواجه است. اجرای مدل‌های بودجه‌ریزی مشارکتی در سطح محلات تهران، طراحی پلتفرم‌های دیجیتال برای مشارکت ساکنان در پروژه‌های شهری، ایجاد صندوق‌های محلی سرمایه‌گذاری خرد، و فعال‌سازی هیئت‌های مشورتی محلی از جمله راهکارهایی است که با الهام از تجارب جهانی قابل پیاده‌سازی در تهران است. همچنین، مشارکت دانشگاه‌ها، نهادهای مدنی و ساکنان در سیاست‌گذاری شهری، می‌تواند به ارتقای حکمرانی شهری، جذب سرمایه‌گذاری بخش خصوصی، و افزایش رضایت شهروندان بینجامد. نمودار ۲ الگوی نظری پیشنهادی با توجه به مطالعه مبانی نظری، تجارب جهانی شهرها و مطالعات پیشین مرتبط را نشان می‌دهد:



نمودار ۲. الگوی نظری پیشنهادی

۳. روش‌شناسی تحقیق

این پژوهش ماهیتی توصیفی - تحلیلی دارد. در مرحله نخست، با بهره‌گیری از روش اسنادی، ادبیات موضوع بررسی شده و چارچوب نظری تحقیق تدوین شد. سپس در بخش میدانی، داده‌های مورد نیاز از جامعه هدف از طریق مصاحبه و پیمایش میان مدیران و متخصصان حوزه اقتصاد شهری به دست خواهد آمد. برای گردآوری داده‌ها از روش‌های زیر استفاده شده است:

- مطالعه اسناد و برنامه‌های شهرداری تهران و شورای شهر
- تحلیل گزارش‌های داخلی و بین‌المللی مرتبط
- مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با ۱۳ نفر از کارشناسان مدیریت شهری، مدیران اجرایی و سرمایه‌گذاران فعال در پروژه‌های شهری
- تحلیل تطبیقی تجارب شهرهای موفق جهان

در این پژوهش برای تحلیل داده‌ها از روش دلفی فازی استفاده شده است. این روش به عنوان جایگزینی برای دلفی سنتی در نظر گرفته شده، زیرا می‌تواند دیدگاه‌های تمام خبرگان را در شرایط عدم قطعیت بهتر پوشش دهد. روش دلفی فازی نخستین بار توسط کافمن و گوپتا^۱ (۱۹۸۸) معرفی شد و با تلفیق نظریه فازی با روش سنتی دلفی، امکان ارزیابی دقیق‌تر قضاوت‌های ذهنی و ترجیحی را فراهم می‌سازد.

در ادامه، نسخه‌ای از دلفی فازی که توسط ایشیگاوا و همکاران^۲ (۱۹۹۳) ارائه شده، به کار گرفته شده است. این نسخه نیز با ایجاد درک مشترک در تصمیم‌گیری‌های گروهی، عملکرد مؤثری دارد. در انتخاب توابع عضویت فازی از انواع اعداد فازی مثلثی، ذوزنقه‌ای و گوسی استفاده شده است که به مدل‌سازی بهتر عدم قطعیت در دیدگاه‌ها کمک می‌کنند. این روش به جای استفاده از داده‌های قطعی، ابهام موجود در پیش‌بینی‌ها را پردازش می‌کند و نتایج دقیق‌تری ارائه می‌دهد.

1. Kaufman and Gupta
2. Ishikawa et al

پرسش‌نامه پژوهش بر پایه تحلیل محتوای ادبیات نظری، اسناد شهری و تجارب جهانی طراحی شده است. مبانی نظری مطرح‌شده در مقدمه و ادبیات نظری، از جمله گزارش‌های بین‌المللی OECD در سال ۲۰۲۰، مطالعات داخلی [۱-۲] و چالش‌های مطرح‌شده در ساختار مدیریت شهری تهران [۳]، چارچوب اولیه طراحی پرسش‌نامه را شکل داده‌اند. همچنین، با استفاده از یافته‌های حاصل از مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با مدیران شهری، کارشناسان و سرمایه‌گذاران، ابعاد مختلف مسئله از دیدگاه‌های میدانی استخراج و به سؤالات پرسش‌نامه اضافه شد.

در طراحی سؤالات، بر محورهایی مانند مشارکت شهروندی، موانع نهادی و اقتصادی، ساختار مدیریت شهری و راهکارهای ارتقای حکمرانی مشارکتی تمرکز شده است. پس از تدوین نسخه اولیه پرسش‌نامه، نسخه پیش‌نویس در اختیار چند تن از خبرگان قرار گرفت و بر اساس بازخوردهای دریافتی، مورد بازنگری و اصلاح قرار گرفت تا از روایی محتوایی و انطباق آن با اهداف تحقیق اطمینان حاصل شود.

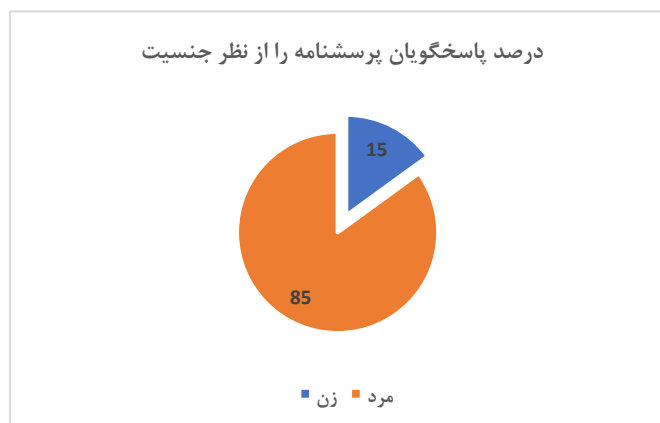
در این مطالعه، روایی محتوا از طریق نظرات خبرگان ارزیابی شده و این نظرات از طریق پرسش‌نامه و مصاحبه حضوری گردآوری شده‌اند. برای بررسی روایی سازه نیز اجرای آزمایشی پرسش‌نامه مورد استفاده قرار گرفته است. در خصوص پایایی ابزار اندازه‌گیری، از ضریب همبستگی کندال بهره گرفته شده است. اشمیت (۱۹۹۷) برای ارزیابی میزان توافق میان اعضای پانل و تصمیم‌گیری در مورد ادامه یا توقف مراحل دلفی، شاخص آماری‌ای به نام ضریب تعیین کندال پیشنهاد می‌کند. در این پژوهش نیز، برای سنجش میزان اختلاف نظر میان اعضای پانل، از همین ضریب استفاده شده است. جدول ۳ نحوه تفسیر مقادیر مختلف این ضریب را ارائه می‌دهد.

جدول ۳. تفسیر مقادیر مختلف ضرایب

مقدار W	تفسیر	اطمینان نسبت به ترتیب عوامل
۰/۱	اتفاق نظر بسیار ضعیف است	وجود ندارد
۰/۲	اتفاق نظر ضعیف	کم
۰/۵	اتفاق نظر متوسط	متوسط
۰/۷	اتفاق نظر قوی	زیاد
۰/۹	اتفاق نظر بسیار قوی	بسیار زیاد

۴. یافته‌ها و تحلیل

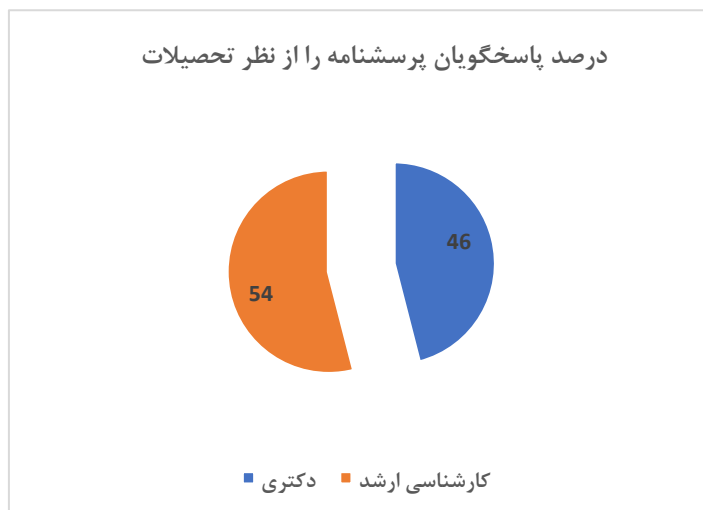
توزیع این پرسشنامه میان جامعه هدف شامل: متخصصان شهری در بخش خصوصی، سرمایه‌گذاران و کارشناسان در شهرداری تهران در نظر گرفته شده است و در مجموع، ۱۳ نفر به پرسشنامه‌های بسته پاسخ دادند. نمودار ۳ درصد پاسخ‌گویان پرسشنامه‌ها را از نظر جنسیت نشان می‌دهد. ۸۵ درصد پاسخ‌گویان مرد و ۱۵ درصد زن بوده‌اند.



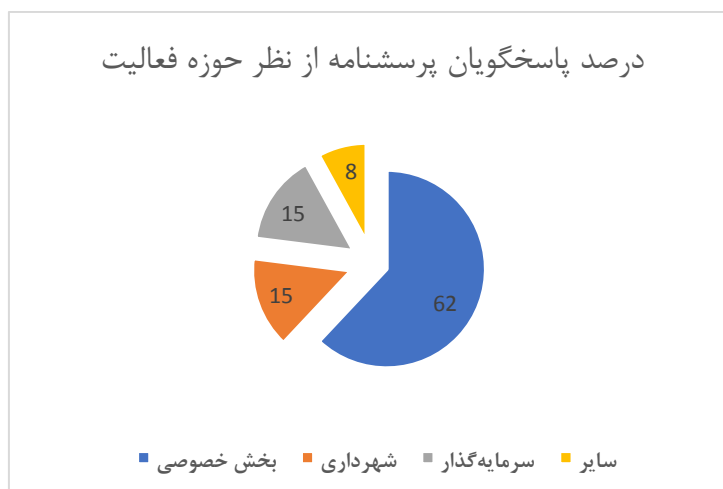
نمودار ۳. درصد پاسخ‌گویان پرسشنامه از نظر جنسیت

نمودار ۴ درصد پاسخ‌گویان پرسشنامه‌ها را از نظر تحصیلات نشان می‌دهد. ۴۶ درصد پاسخ‌گویان دارای تحصیلات دکتری و ۵۴ درصد دارای تحصیلات کارشناسی ارشد، بوده‌اند.

نمودار ۵ درصد پاسخ‌گویان پرسشنامه از نظر حوزه فعالیت را نشان می‌دهد. ۶۲ درصد پاسخ‌گویان در بخش خصوصی، ۱۵ درصد سرمایه‌گذار، ۱۵ درصد شهرداری و ۸ درصد سایر بوده‌اند.



نمودار ۴. درصد پاسخ‌گویان پرسشنامه از نظر تحصیلات



نمودار ۵. درصد پاسخ‌گویان پرسشنامه از نظر حوزه فعالیت

جدول ۴ نتایج و ارزیابی تحلیل دلفی فازی ارزیابی ظرفیت‌ها و فرصت‌های مشارکت و سرمایه‌گذاری در شهر تهران را نشان می‌دهد.

تحلیل نتایج دلفی فازی نشان می‌دهد ظرفیت‌های اصلی سرمایه‌گذاری و مشارکت در شهر تهران عمدتاً در سه حوزه کلیدی متمرکز است: اول، زیرساخت‌های فناورانه که با بالاترین امتیاز (۰/۸۶) توانسته‌اند قابلیت بالای مشارکت الکترونیک را اثبات کنند؛ دوم، بازار مصرف گسترده تهران که به عنوان یک مزیت اقتصادی مشهود، زمینه جذب سرمایه‌گذاری در پروژه‌های شهری را فراهم می‌آورد؛ و سوم، زیرساخت‌های نرم توسعه شهری مانند برندینگ فرهنگی، تعامل نهادهای عمومی و خصوصی، و ظرفیت سازمان‌های مردم‌نهاد، که همگی از مرز پذیرش عبور کرده‌اند. این عوامل در مجموع بیانگر آن هستند که اگرچه زیرساخت‌های فیزیکی و پروژه‌های عمرانی نیز از پتانسیل برخوردارند، اما آینده سرمایه‌گذاری موفق در تهران بیش از هر چیز در گرو فعال‌سازی ظرفیت‌های نرم، تعامل محور و فناورانه است.

جدول ۴. نتایج و ارزیابی تحلیل دلفی فازی ارزیابی ظرفیت‌ها و فرصت‌های مشارکت و سرمایه‌گذاری در شهر تهران

عنوان	قبول/رد ≥ 0.7	Defuzzification			Total Average			Average I, MU		
		Final score	L	M	U	L	M	U	L	M
وجود نهادهای محلی مانند شورایی‌ها ظرفیت مناسبی برای مشارکت مردمی در تهران ایجاد کرده است.	رد	0.32	0.13	0.29	0.54	1.50	3.50	6.50		
شهروندان تهرانی از سطح تحصیلات و آگاهی لازم برای مشارکت در تصمیم‌گیری‌های شهری برخوردارند.	رد	0.63	0.40	0.65	0.85	4.75	7.75	10.25		
فناوری‌های دیجیتال می‌توانند بستر مناسبی برای مشارکت الکترونیکی فراهم کنند.	قبول	0.86	0.67	0.92	1.00	8.00	11.00	12.00		
بازار مصرف بزرگ تهران فرصتی برای جذب سرمایه‌گذاری در پروژه‌های شهری است	قبول	0.85	0.65	0.90	1.00	7.75	10.75	12.00		
پروژه‌های شهری مانند مترو و پسماند بستر مناسبی برای مشارکت بخش خصوصی دارند.	رد	0.60	0.38	0.60	0.81	4.50	7.25	9.75		
سیاست‌های جدید شهرداری برای کاهش وابستگی به درآمدهای ناپایدار فرصت مناسبی برای مشارکت فراهم کرده‌اند.	رد	0.56	0.38	0.56	0.73	4.50	6.75	8.75		
مانند برلین، امکان مشارکت شهروندان در بودجه‌ریزی محلی در تهران نیز می‌تواند باعث افزایش اعتماد عمومی شود.	رد	0.69	0.46	0.71	0.92	5.50	8.50	11.00		
نمونه کپنهاگ نشان می‌دهد شهروندان در قالب صندوق‌های سرمایه‌گذاری می‌توانند نقش مؤثری در توسعه شهری داشته باشند.	رد	0.68	0.46	0.69	0.90	5.50	8.25	10.75		
وجود نهادهای محلی مانند شورایی‌ها ظرفیت مناسبی برای مشارکت مردمی در تهران ایجاد کرده است	رد	0.32	0.13	0.29	0.54	1.50	3.50	6.50		
شهروندان تهرانی از سطح تحصیلات و آگاهی لازم برای مشارکت در تصمیم‌گیری‌های شهری برخوردارند.	رد	0.66	0.42	0.67	0.90	5.00	8.00	10.75		
برگزاری جشنواره‌ها و رویدادهای محلی ظرفیت سرمایه‌گذاری فرهنگی و اجتماعی را افزایش می‌دهد.	قبول	0.74	0.52	0.75	0.94	6.25	9.00	11.25		
میزان مشارکت فعلی شهروندان تهرانی در فرایندهای شهری مثبت و رو به رشد است.	رد	0.24	0.04	0.21	0.46	0.50	2.50	5.50		
شهر تهران ظرفیت برندینگ شهری برای جذب سرمایه‌گذاران فرهنگی و خلاق را دارد.	قبول	0.71	0.48	0.73	0.92	5.75	8.75	11.00		
تعامل میان ساکنان، بخش خصوصی و نهادهای عمومی موجب افزایش اثربخشی سرمایه‌گذاری می‌شود.	قبول	0.78	0.56	0.81	0.96	6.75	9.75	11.50		
نواحی دارای بافت فرسوده در تهران، بستر مناسبی برای جذب سرمایه‌گذاری بازآفرینی هستند.	قبول	0.71	0.48	0.73	0.92	5.75	8.75	11.00		
پروژه‌های ناتمام شهری، پتانسیل مناسبی برای ورود سرمایه‌گذاران جدید دارد.	رد	0.64	0.42	0.65	0.85	5.00	7.75	10.25		
ظرفیت محلی نهادهای اجتماعی مانند NGO ها در فرایند بازآفرینی شهری مؤثر است.	قبول	0.82	0.60	0.85	1.00	7.25	10.25	12.00		

در مقابل، رد شدن اکثر شاخص‌های مرتبط با نهادهای محلی (شورایی‌ها)، مشارکت مردمی، سیاست‌های مالی شهرداری و پروژه‌های نیمه‌تمام نشان می‌دهد چالش‌های نهادی و ساختاری همچنان مانع جدی بر سر راه مشارکت اثربخش و جذب سرمایه‌گذاری خصوصی هستند. ضعف اعتماد عمومی، نبود چارچوب روشن حقوقی برای سرمایه‌گذاران، و ناتوانی در تبدیل پتانسیل‌های موجود به فرصت‌های واقعی، از جمله دلایل کلیدی این وضعیت است. از این‌رو، سیاست‌گذاری اقتصادی برای آینده شهر تهران باید بر اصلاح ساختار نهادی، توانمندسازی شهروندان از طریق آموزش و شفاف‌سازی، و توسعه ابزارهای دیجیتال به منظور تسهیل مشارکت تمرکز کند تا زمینه برای جذب پایدار سرمایه و مشارکت عمومی فراهم شود.

جدول ۵ نتایج و ارزیابی تحلیل دلفی فازی شناسایی چالش‌ها و موانع ساختاری مشکلات و سرمایه‌گذاری در شهر تهران را

نشان می‌دهد:

جدول ۵. نتایج و ارزیابی تحلیل دلفی فازی شناسایی چالش‌ها و موانع ساختاری مشکلات و سرمایه‌گذاری در شهر تهران

Average I, MU			Total Average			Defuzzification	قبول/رد	عنوان
L	M	U	L	M	U	Final score	≥ 0.7	
7.50	10.50	11.50	0.63	0.88	0.96	0.82	قبول	بروکراسی اداری مانعی جدی در مسیر مشارکت شهروندی و سرمایه‌گذاری در تهران است.
7.50	10.50	12.00	0.63	0.88	1.00	0.83	قبول	نبود شفافیت اطلاعات شهری موجب کاهش اعتماد عمومی شده است.
7.50	10.50	12.00	0.63	0.88	1.00	0.83	قبول	نوسانات اقتصادی و ارزی مانع جدی در جذب سرمایه‌گذار در تهران است
7.00	10.00	12.00	0.58	0.83	1.00	0.81	قبول	شوراهای محلی قدرت و اختیارات لازم برای تأثیرگذاری واقعی ندارند.
4.50	6.25	8.25	0.38	0.52	0.69	0.53	رد	نبود نهادهای دآوری مؤثر موجب تردید سرمایه‌گذاران برای ورود به پروژه‌ها می‌شود.
6.00	8.75	10.75	0.50	0.73	0.90	0.71	قبول	مشارکت شهروندی در تهران غالباً شعاری و بدون ساختار مؤثر است.
5.50	7.75	9.75	0.46	0.65	0.81	0.64	رد	تمرکزگرایی در ساختار مدیریت شهری مانع اجرای مشارکت محلی است.
7.75	10.75	12.00	0.65	0.90	1.00	0.85	قبول	تجربه لندن و نیویورک حاکی از آن است که در صورت نبود عدالت اجتماعی در مشارکت‌ها، اعتماد عمومی کاهش می‌یابد.
7.25	10.25	12.00	0.60	0.85	1.00	0.82	قبول	عدم دسترسی شهروندان به اطلاعات شفاف و به‌روز، همانند مشکل پیشین در شهر تورنتو، مانعی در مشارکت معنادار است.
7.25	10.25	12.00	0.60	0.85	1.00	0.82	قبول	عدم ثبات اقتصادی موجب کاهش رغبت به سرمایه‌گذاری بلندمدت در نوسازی شهری می‌شود.
7.25	10.00	11.25	0.60	0.83	0.94	0.79	قبول	تعدد نهادهای تصمیم‌گیر موجب ایجاد ناهماهنگی در اجرای برنامه‌های بازآفرینی می‌شود.
3.25	5.50	8.25	0.27	0.46	0.69	0.47	رد	تضاد منافع میان ساکنان، مالکان و سرمایه‌گذاران مانعی برای اجرای موفق پروژه‌هاست
7.00	10.00	11.50	0.58	0.83	0.96	0.79	قبول	مقررات شهری در بسیاری موارد بازدارنده و قدیمی‌اند.
5.25	7.75	10.00	0.44	0.65	0.83	0.64	رد	نبود شفافیت در اولویت‌بندی پروژه‌های شهری موجب کاهش انگیزه سرمایه‌گذاری می‌شود.
8.00	11.00	12.00	0.67	0.92	1.00	0.86	قبول	نبود هماهنگی میان دستگاه‌های اجرایی مانع اجرای مؤثر پروژه‌های بازآفرینی شهری است.
7.25	10.25	12.00	0.60	0.85	1.00	0.82	قبول	فرایند طولانی صدور مجوز و استعلامات، مانعی برای جذب سرمایه‌گذاران خصوصی است.
6.75	9.75	11.25	0.56	0.81	0.94	0.77	قبول	بی‌اعتمادی ساکنان محلی نسبت به تغییرات کالبدی و اجتماعی، مانعی برای مشارکت فعال است.
6.25	9.25	11.50	0.52	0.77	0.96	0.75	قبول	ضعف نظارت و ارزیابی بر فرایندهای مشارکتی در بافت‌های فرسوده چالش‌زا است.
6.25	9.25	11.50	0.52	0.77	0.96	0.75	قبول	کمبود منابع مالی عمومی سرعت اجرای برنامه‌های بازآفرینی را کاهش داده است.
4.00	6.00	8.50	0.33	0.50	0.71	0.51	رد	کمبود مشارکت واقعی ساکنان در تصمیم‌گیری‌ها موجب شکست پروژه‌های قبلی شده است.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل دلفی فازی، عمده‌ترین موانع ساختاری و نهادی در مسیر مشارکت شهروندی و جذب سرمایه‌گذاری در تهران مورد تأیید خبرگان قرار گرفته‌اند. شاخص‌هایی همچون بروکراسی اداری، نبود شفافیت اطلاعات شهری، نوسانات اقتصادی و ارزی، نبود عدالت اجتماعی در مشارکت‌ها، تعدد نهادهای تصمیم‌گیر، فرایند پیچیده صدور مجوزها و عدم هماهنگی میان دستگاه‌ها با امتیاز بالای ۰/۸ پذیرفته شده‌اند. این یافته‌ها بیانگر آن است که فضای نهادی و تنظیم‌گری در تهران از پیچیدگی، ناپایداری و کم‌اعتمادی ساختاری رنج می‌برد. همچنین، شاخص‌هایی مانند بی‌اعتمادی ساکنان نسبت به تغییرات کالبدی و کمبود منابع مالی عمومی نیز در زمره موانع پذیرفته شده‌اند که نشان می‌دهد حتی در صورت وجود فرصت‌های فنی و اقتصادی، نارضایتی و بی‌اعتمادی اجتماعی مانع اجرای مؤثر پروژه‌ها خواهد بود.

در نقطه مقابل، شاخص‌هایی نظیر نبود نهادهای داوری مؤثر، تضاد منافع میان ذی‌نفعان، نبود شفافیت در اولویت‌بندی پروژه‌ها و کمبود مشارکت واقعی ساکنان در تصمیم‌گیری‌ها موفق به عبور از آستانه پذیرش نشده‌اند، که می‌تواند ناشی از نبود اجماع میان خبرگان بر اهمیت مستقیم یا قابل اندازه‌گیری بودن این عوامل باشد. به بیانی، با وجود اینکه این عوامل نیز در ادبیات توسعه شهری موانع شناخته‌شده‌ای محسوب می‌شوند، ولی در چارچوب خاص ارزیابی دلفی، وزن آن‌ها نسبت به دیگر موانع کمتر ارزیابی شده است. جمع‌بندی این نتایج از منظر اقتصادی حاکی از آن است که برای افزایش مشارکت و جذب سرمایه‌گذاری در تهران، اولویت باید به اصلاح ساختارهای اداری، بهبود شفافیت و ثبات اقتصادی، و بازطراحی سازوکارهای مشارکتی مبتنی بر اعتماد اجتماعی و عدالت داده شود.

جدول ۶ نتایج و ارزیابی تحلیل دلفی فازی راهکارهای پیشنهادی و سیاست‌های اجرایی برای ارتقای مشارکت و سرمایه‌گذاری در شهر تهران را نشان می‌دهد:

جدول ۶. نتایج و ارزیابی تحلیل دلفی فازی راهکارهای پیشنهادی و سیاست‌های اجرایی برای ارتقای مشارکت و سرمایه‌گذاری در شهر تهران

Average I, MU			Total Average			Defuzzification	قبول/رد	عنوان
L	M	U	L	M	U	Final score	≥ 0.7	
4.50	6.75	9.25	0.38	0.56	0.77	0.57	رد	تقویت حقوقی شوراهای محله و شورایی‌ها موجب افزایش مشارکت مردم می‌شود.
6.00	8.75	11.25	0.50	0.73	0.94	0.72	قبول	ایجاد پارلمان محلی با حضور نمایندگان مردم، گامی مؤثر در تصمیم‌گیری شهری است.
5.50	7.75	9.75	0.46	0.65	0.81	0.64	رد	تدوین آیین‌نامه مشخص برای مشارکت شهروندی ضروری است.
7.00	9.75	11.25	0.58	0.81	0.94	0.78	قبول	شفاف‌سازی اطلاعات بودجه‌ای و پروژه‌ای موجب افزایش اعتماد عمومی خواهد شد.
7.00	9.75	11.25	0.58	0.81	0.94	0.78	قبول	استفاده از اپلیکیشن‌های موبایلی محله‌محور موجب تقویت ارتباط مردم با شهرداری می‌شود.
6.75	9.50	11.00	0.56	0.79	0.92	0.76	قبول	آموزش شهروندی از طریق مدارس و رسانه‌ها، سطح مشارکت مردم را ارتقا می‌دهد.
5.50	7.75	9.75	0.46	0.65	0.81	0.64	رد	بهره‌گیری از مدل بازطراحی مشارکتی فضاهای عمومی در آمستردام، می‌تواند هزینه‌های عمومی را کاهش دهد و مشارکت مردمی را تقویت کند.
5.00	7.25	9.75	0.42	0.60	0.81	0.61	رد	استفاده از تجربیات مشارکت محله‌ای پس از بحران در نیویورک، می‌تواند به ارتقای تاب‌آوری شهری تهران کمک کند.
7.25	10.25	12.00	0.60	0.85	1.00	0.82	قبول	استفاده از ظرفیت مشارکت بخش خصوصی برای احداث خدمات عمومی نظیر مراکز فرهنگی باید تقویت شود.
6.00	8.75	11.25	0.50	0.73	0.94	0.72	قبول	ایجاد سامانه الکترونیکی مشارکت مردمی در بازآفرینی شهری مفید خواهد بود.
6.00	8.75	11.25	0.50	0.73	0.94	0.72	قبول	توسعه مدل‌های مالی نوین مانند صندوق زمین و ساختمان، جذب سرمایه را در بازآفرینی تسهیل می‌کند.
6.50	9.25	11.25	0.54	0.77	0.94	0.75	قبول	ایجاد چارچوب مشخص برای بهره‌مندی ساکنان محلی از منافع پروژه‌ها ضروری است.
7.00	9.75	11.25	0.58	0.81	0.94	0.78	قبول	ایجاد مشوق‌های ویژه برای سرمایه‌گذاران در بافت‌های ناکارآمد باید در اولویت قرار گیرد.
6.00	8.50	10.50	0.50	0.71	0.88	0.69	رد	ارائه آموزش‌های محلی در مورد مزایای بازآفرینی می‌تواند سطح مشارکت مردمی را افزایش دهد.
7.25	10.25	12.00	0.60	0.85	1.00	0.82	قبول	تسهیل فرایند صدور مجوز سرمایه‌گذاری با ایجاد پنجره واحد ضروری است.
5.75	8.25	10.50	0.48	0.69	0.88	0.68	رد	گسترش رسانه‌های محلی در آگاهی‌بخشی پیرامون بازآفرینی شهری مؤثر است.
7.00	10.00	11.00	0.58	0.83	0.92	0.78	قبول	تعیین اولویت‌های محله‌ای بازآفرینی بر اساس نظرسنجی از ساکنان باید انجام شود.

بر اساس نتایج تحلیل دلفی فازی، بیشتر راهکارهای پیشنهادی برای ارتقای مشارکت شهروندی و جذب سرمایه‌گذاری در تهران مورد پذیرش خبرگان قرار گرفته‌اند. سیاست‌هایی نظیر ایجاد پارلمان محلی، استفاده از اپلیکیشن‌های محله‌محور، شفاف‌سازی اطلاعات پروژه‌ای و بودجه‌ای، توسعه آموزش‌های شهروندی از طریق مدارس و رسانه‌ها، و ایجاد سامانه‌های الکترونیکی مشارکت امتیاز نهایی بالای ۰/۷ کسب کرده‌اند. این نتایج حاکی از آن است که تقویت زیرساخت‌های دیجیتال، شفافیت اطلاعات، و ایجاد سازوکارهای نهادی ساختارمند از دید متخصصان، کلید بهبود مشارکت مؤثر و اعتمادسازی عمومی محسوب می‌شود. همچنین، سیاست‌هایی مانند توسعه مدل‌های مالی نوین (مثل صندوق زمین و ساختمان) و تسهیل فرایند صدور مجوز با پنجره واحد نیز در زمره اولویت‌های اقتصادی برای ارتقای فضای سرمایه‌گذاری در بازآفرینی شهری تلقی شده‌اند. از سوی دیگر، برخی سیاست‌ها نظیر تقویت حقوقی شوراهای محله، تدوین آیین‌نامه مشارکت شهروندی، بهره‌گیری از تجربه‌های بین‌المللی مانند آمستردام و نیویورک و آموزش‌های محلی درباره بازآفرینی نتوانستند به حد نصاب مورد انتظار برسند. علت اصلی این رد ممکن است به برداشت‌های متفاوت از اثربخشی این سیاست‌ها، یا چالش در اجرای آن‌ها در ساختار مدیریت شهری تهران بازگردد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که اولویت با سیاست‌هایی است که ترکیبی از قابلیت اجرای عملی، تأثیرگذاری سریع و پشتیبانی ساختاری و فناورانه دارند. تحلیل کلی نشان می‌دهد برای موفقیت سیاست‌گذاری در این حوزه، باید تمرکز بر ابزارهای دیجیتال، شفافیت نهادی، و انگیزه‌بخشی مالی به مشارکت‌کنندگان دنبال شود، در حالی که اصلاحات ساختاری عمیق‌تر، همچون تقویت حقوقی شوراها، هنوز نیازمند اجماع بیشتر و زمینه‌سازی نهادی است.

جدول ۷ نتایج و ارزیابی تحلیل دلفی فازی سیاست‌پژوهی در حوزه مشارکت و سرمایه‌گذاری در شهر تهران را نشان می‌دهد:

جدول ۷. نتایج و ارزیابی تحلیل دلفی فازی سیاست‌پژوهی در حوزه مشارکت و سرمایه‌گذاری در شهر تهران

Average I, MU			Total Average			Defuzzification	قبول/رد	عنوان
L	M	U	L	M	U	Final score	≥ 0.7	
5.25	7.50	9.75	0.44	0.63	0.81	0.63	رد	اسناد بالادستی از جمله قانون درآمدهای پایدار، ظرفیت سیاست‌گذاری مؤثری ایجاد کنند.
6.25	9.00	11.25	0.52	0.75	0.94	0.74	قبول	سیاست‌گذاری باید بر تقویت انگیزه‌ها و پاداش‌های مشارکت شهروندی متمرکز باشد.
6.50	9.25	11.25	0.54	0.77	0.94	0.75	قبول	طراحی سازوکارهای بازخورد و پاسخ‌گویی، بخش ضروری سیاست‌گذاری شهری است.
5.25	7.50	9.75	0.44	0.63	0.81	0.63	رد	سیاست‌های تبلیغاتی و برندسازی می‌توانند اعتماد سرمایه‌گذاران را جلب کنند.
7.25	10.00	11.25	0.60	0.83	0.94	0.79	قبول	ایجاد بانک اطلاعاتی یکپارچه برای سیاست‌گذاری بازآفرینی شهری لازم است.
7.00	9.75	11.25	0.58	0.81	0.94	0.78	قبول	ایجاد شبکه‌ای از پژوهشگران شهری برای هم‌اندیشی با مدیران شهرداری پیشنهاد می‌شود.
6.75	9.50	11.25	0.56	0.79	0.94	0.76	قبول	پژوهش‌ها باید با مشارکت جامعه محلی انجام شود تا واقع‌گرایانه باشد.
7.00	9.75	11.25	0.58	0.81	0.94	0.78	قبول	نتایج مطالعات سیاستی باید به زبان ساده برای عموم شهروندان ارائه شود.
3.00	4.75	7.25	0.25	0.40	0.60	0.42	رد	ایجاد نهاد میانجی دانشگاهی - شهرداری برای پیوند پژوهش و اجرا ضروری است.
5.00	7.00	9.00	0.42	0.58	0.75	0.58	رد	شاخص‌های عملکرد مشارکت باید توسط تیم‌های مستقل پژوهشی رصد شود.
6.25	9.00	11.25	0.52	0.75	0.94	0.74	قبول	سیاست‌پژوهی نباید فقط در سطح برنامه‌ریزی باقی بماند، بلکه باید وارد مرحله اجرا و نظارت شود.

جدول ارائه‌شده نتایج تحلیل دلفی فازی درباره سیاست‌ها و راهکارهای اجرایی برای ارتقای مشارکت شهروندی و سرمایه‌گذاری در شهر تهران را به‌روشنی نمایش می‌دهد. از مجموع ۱۷ پیشنهاد مورد بررسی، ۱۱ راهکار با امتیاز نهایی بیش از ۰/۷ مورد تأیید خبرگان قرار گرفته‌اند. این راهکارهای پذیرفته‌شده عمدتاً شامل اقداماتی هستند که بر شفافیت، استفاده از فناوری، تسهیل فرآیندها و مشارکت بخش خصوصی تأکید دارند؛ مانند «شفاف‌سازی اطلاعات پروژه‌ای»، «ایجاد سامانه‌های الکترونیکی»، «توسعه مدل‌های مالی نوین»، «ایجاد مشوق‌های سرمایه‌گذاری»، و «ایجاد پنجره واحد صدور مجوز». همچنین آموزش رسمی و استفاده از ابزارهای دیجیتال محله‌محور نیز از دید خبرگان، نقشی کلیدی در ارتقای مشارکت مؤثر شهروندان ایفا می‌کنند.

در مقابل، ۶ پیشنهاد نتوانستند حد نصاب پذیرش (امتیاز ۰/۷) را کسب کنند. این موارد بیشتر شامل پیشنهادهایی با ماهیت ساختاری و فرهنگی مانند «تقویت حقوقی شوراهای محله»، «تدوین آیین‌نامه مشارکت»، یا استفاده از تجربیات بین‌المللی (مانند آمستردام و نیویورک) بودند. دلیل رد این پیشنهادهای ممکن است به محدودیت‌های اجرایی در بستر حقوقی - اداری فعلی تهران، یا فاصله زمانی و ساختاری میان سیاست‌های بین‌المللی و بومی‌سازی آن‌ها بازگردد. در مجموع، تحلیل نشان می‌دهد سیاست‌های عملیاتی، قابل اجرا و دارای بازدهی ملموس در کوتاه‌مدت، بیش از سیاست‌های بنیادی و ساختاری مورد حمایت قرار گرفته‌اند، که خود نکته‌ای مهم در تدوین نقشه راه اصلاحات مشارکتی و اقتصادی شهری است.

مشارکت شهروندی به عنوان یکی از ارکان اساسی حکمرانی خوب شهری، نقشی کلیدی در بهبود فرایندهای تصمیم‌گیری، افزایش شفافیت و ارتقای کیفیت زندگی شهری ایفا می‌کند. با این حال، در کلان‌شهرهایی مانند تهران، تحقق مشارکت مؤثر شهروندان با چالش‌های متعددی مواجه است. این موانع در ابعاد گوناگونی از جمله ساختاری و نهادی، اقتصادی و مالی، فرهنگی - اجتماعی و همچنین، فناوری و زیرساختی قابل شناسایی‌اند که هر یک به‌نوعی مانع از شکل‌گیری بستری مناسب برای مشارکت فعال و اثربخش شهروندان می‌شوند.

در حالت کلی، موانع مشارکت شهروندی در تهران مجموعه‌ای پیچیده و درهم‌تنیده از مشکلات نهادی، اقتصادی، فرهنگی و فناوری است. رفع این موانع مستلزم تغییرات ساختاری، آموزش عمومی، توسعه ابزارهای دیجیتال و ایجاد اعتماد مجدد میان مردم و نهادهای مدیریت شهری است. عمده موانع ساختار و نهادی شامل: تمرکزگرایی قدرت، تداخل نهادها و نبود نظام مشارکت نهادینه است. موانع فناوری و زیرساختی هم ضعف زیرساخت دیجیتال، ناکارآمدی سامانه‌ها و فقدان داده‌های باز بوده است. موانع اقتصادی و مالی هم شامل: ناپایداری اقتصادی، نبود مشوق‌های اقتصادی و هزینه‌بر بودن مشارکت مؤثر و موانع فرهنگی و اجتماعی هم مواردی همچون بی‌اعتمادی عمومی مشارکت‌گریزی فرهنگی نبود آموزش و آگاهی هستند.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد ارتقای مشارکت شهروندی و جذب سرمایه‌گذاری خصوصی، دو مؤلفه کلیدی در تقویت حکمرانی شهری و تحقق توسعه پایدار در تهران هستند. موانعی همچون ساختار متمرکز مدیریت شهری، ضعف نهادهای محلی، کمبود زیرساخت‌های دیجیتال، ضعف مشوق‌های اقتصادی و نبود چارچوب‌های قانونی شفاف، از اصلی‌ترین چالش‌های پیش روی مشارکت مؤثر شهروندان و حضور فعال بخش خصوصی در پروژه‌های شهری محسوب می‌شوند. بر همین اساس، مجموعه‌ای از توصیه‌های سیاستی برای رفع این موانع و تقویت فرایندهای مشارکتی و سرمایه‌گذاری پیشنهاد می‌شود.

در زمینه تقویت مشارکت شهروندی، توسعه سامانه‌های رأی‌گیری آنلاین و پلتفرم‌های دیجیتال، فعال‌سازی شوراهای محلی با اختیارات واقعی، نهادینه‌سازی بودجه‌ریزی مشارکتی در شهرداری و آموزش همگانی در زمینه حقوق شهری از اقدامات ضروری به شمار می‌روند. از سوی دیگر، در حوزه سرمایه‌گذاری، اصلاح قوانین مرتبط با مشارکت عمومی خصوصی، ایجاد پنجره واحد سرمایه‌گذاری، تدوین بسته‌های تشویقی برای پروژه‌های اولویت‌دار و استفاده از ابزارهای نوآورانه‌ای مانند تأمین مالی جمعی، می‌تواند به بهبود محیط سرمایه‌گذاری شهری کمک کند.

در حوزه جذب سرمایه‌گذاری نیز، اصلاح قوانین و آیین‌نامه‌های مرتبط با مشارکت عمومی - خصوصی (PPP) اهمیت بالایی برخوردار است؛ چرا که ایجاد چارچوب‌های حقوقی شفاف، امنیت سرمایه‌گذاری را افزایش می‌دهد. همچنین، راه‌اندازی پنجره

واحد سرمایه‌گذاری شهری می‌تواند فرایندهای اداری را تسهیل کند و از بروکراسی بکاهد. تدوین بسته‌های مالی مشوق برای پروژه‌های اولویت‌دار، به‌ویژه در حوزه‌ی نوسازی بافت‌های فرسوده، و بهره‌گیری از پلتفرم‌های نوین تأمین مالی جمعی^۱ به عنوان ابزارهای نوآورانه، می‌تواند منابع متنوع‌تری را برای توسعه‌ی شهری فعال کند و مشارکت بخش خصوصی و مردم را در سرمایه‌گذاری شهری ارتقا دهد.

منابع

1. Sarrafi M. Challenges of urban management in Iran. *Scientific-Research Journal*. 2016. [In Persian]
2. Mohammadzadeh A, Pirannejad A, Mokhtarianpour M. Exploring the concept of citizen participation: Towards a theoretical framework. *Public Administration*. 2021;13(3):478–508. [In Persian]
3. Organization of Municipalities and Rural Affairs. Annual performance report of Tehran urban management. Tehran: Organization of Municipalities and Rural Affairs; 2022. [In Persian]
4. Habibi S, Noori M, Dehghan N. Investigating obstacles to private sector participation in Tehran's urban projects. *Urban Studies Quarterly*. 2020. [In Persian]
5. Mousavi F, Dehghan S. Comparative analysis of participatory budgeting in Iran and globally. *Urban Management Journal*. 2021. [In Persian]
6. UN-Habitat. *Citizen Participation in Urban Governance*. Nairobi: United Nations Human Settlements Programme; 2019.
7. Arnstein SR. A ladder of citizen participation. *J Am Inst Plann*. 1969;35(4):216–24.
8. Rezvani SM, Mousavi M, Ghorbani S. Analysis of citizen participation in urban management with emphasis on influencing factors: Case study of Kashan. *Geography and Planning Quarterly*. 2012;16(43):87–110. [In Persian]
9. Samadi A. Citizen participation in urban management: A study of global experiences and new approaches. *Urban Management Quarterly*. 2017. [In Persian]
10. Babaei A, et al. Comparative analysis of citizen participation levels in Iran's urban management. *Urban Management Quarterly*. 2019. [In Persian]
11. Mohseni-Tabrizi SR. Analysis of open systems theory in Iran's urban management. Tehran: Tehran University Press; 2015. [In Persian]
12. Kazemi M. Citizen participation in urban management in Iran: Opportunities and challenges. Tehran: Urban Planning and Research Center; 2018. [In Persian]
13. OECD. *Enhancing Citizen Engagement in Public Investment*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development; 2018.
14. Davari M, Taheri MR. Investigating the effect of citizen participation on urban management efficiency in Iran: A case study of major cities. Tehran: Urban Studies Center Publications; 2020. [In Persian]
15. Islamic Parliament Research Center. Legal and institutional challenges of citizen participation and investment attraction in Tehran's urban management. Tehran: Office of Social and Cultural Studies; 2021. [In Persian]
16. Shirzad A. A critique of citizen participation structures in Tehran Municipality: From centralization to inefficiency. Tehran: Urban Management Studies Center; 2022. [In Persian]
17. Zangeneh Y. *Introduction to urban economics (Vol. 1)*. Tehran: Azarakhsh Publications; 2009. [In Persian]
18. Ghasemi A. Requirements for developing investment in urban infrastructure projects with emphasis on the role of municipalities. Tehran: Urban and Regional Studies Center; 2016. [In Persian]
19. Heidarzadeh S, Majd V, Ghobashi A. Factors affecting public-private participation in selected countries (with emphasis on institutional factors). *Economic Strategy Quarterly*. 2020;9(35):237–61. [In Persian]
20. World Bank. *Public-Private Partnerships Reference Guide Version 3.0*. 2021.
21. Ghamami M. Financing of Build-Operate-Transfer (BOT) projects. *Comparative Legal Studies*. 2010;1(2):101–22. [In Persian]
22. Nourmohammadi M. *Urban governance and citizen participation*. Tehran: Elm Publications; 2014. [In Persian]
23. Tahmasbi A, Rezaei M, Hosseini S. Review of structural reform measures for urban financing in Iran. *Urban and Regional Economics Quarterly*. 2020;12(4):57–78. [In Persian]
24. Mozaffari G, Papeli Yazdi M, Vosoughi F, Hataminejad H. A model for stabilizing municipal revenue and financial resources: Case study of Tehran Municipality. *Geographic Research Quarterly*. 2016;31(4):24–44. [In Persian]
25. Wampler B. Participatory budgeting: Core principles and key impacts. *J Public Deliberation*. 2012.

26. Baiocchi G. *Militants and Citizens: The Politics of Participatory Democracy in Porto Alegre*. Stanford University Press; 2005.
27. Ajuntament de Barcelona. *Decidim Barcelona: Annual Report 2020*. Barcelona City Council; 2020.
28. Homes England. *Strategic Plan*. 2020.
29. Kim S, Lee J. *Urban Governance and Citizen Participation in Seoul*. *Asian J Public Adm*. 2019.
30. City of Toronto. *Digital Public Engagement Strategy*. 2020.
31. OECD. *Citizen Engagement in Public Investment*. OECD Publishings; 2019.
32. Parnell S, Pieterse E. The 'Right to the City': Institutional imperatives of a developmental state. *Int J Urban Reg Res*. 2010.
33. de Lange M, de Waal M. *Owning the City: New media and citizen engagement in urban design*. First Monday. 2013.
34. Fung A, Wright EO. *Deepening Democracy: Institutional Innovations in Empowered Participatory Governance*. Verso; 2003.
35. UN-Habitat. *Participatory Slum Upgrading Programme (PSUP)*. Nairobi: United Nations Human Settlements Programme; 2015.
36. NYC Planning Department. *Community District Profiles*. 2019.
37. Townsend AM. *Smart Cities: Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New Utopia*. W. W. Norton & Company; 2013.
38. Shin HB. *Urban redevelopment in Seoul: From the developmental state to a neoliberal city*. *Urban Stud*. 2018.



A Model for Choosing Electronic Document Management System in Order to Create a Knowledge-Based Organization

Hadi Alinia Gardroudbari¹ | Seyed Mostafa Ghazizadeh Hashemi^{2*} | Seyed Mahmood Emadi³ | Somayeh Manafi⁴ | Negin Mirzaei⁵ | Mobina Kalantari⁶

1. Ph.D. Student, School of Energy Engineering and Sustainable Resources, College of Interdisciplinary Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: hadi.alinia@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Dean of the University of Transportation and Traffic of Tehran Municipality, Tehran, Iran. Email: mostafaghazizadeh@gmail.com
3. M.Sc. in Industrial Engineering (Systems and Productivity), Planning and Maintenance Manager for Track and Infrastructure, Tehran Urban and Suburban Railway Operation Company (Tehran Metro). Email: mahmood.emadi@gmail.com
4. Ph.D. in Urban Planning and Researcher in Urban Management, Tehran, Iran. Email: s.manafi89@gmail.com
5. Ph.D. Student, School of Energy Engineering and Sustainable Resources, College of Interdisciplinary Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: neginemirzaei@ut.ac.ir
6. M.Sc. Student, School of Energy Engineering and Sustainable Resources, College of Interdisciplinary Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: mobina.kalantari@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 10 April 2025
Revised 10 May 2025
Accepted 11 July 2025
Published Online 11 September 2025

Keywords:
Knowledge Documentation,
Document Management,
Multi Criteria Decision Making,
Analytic Network Process.

ABSTRACT

In today's knowledge-driven landscape, documentation of organizational knowledge plays a pivotal role in the development of knowledge-based organizations. As knowledge management gains prominence, selecting an appropriate Electronic Document Management System (EDMS) has become a strategic concern for organizations seeking to store, retrieve, and utilize institutional knowledge efficiently. This study aims to develop an effective framework for prioritizing and selecting a suitable EDMS for organizational knowledge documentation. To this end, a Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) approach was adopted, combining the Delphi method for criteria and alternative identification with the Analytic Network Process (ANP) for weighting and prioritization. The novelty of this research lies in the integration of the Delphi technique with ANP in evaluating EDMS options under interdependent criteria. Previous studies often lacked a structured and operational model that considered interrelationships among selection criteria, which this study addresses. The Tehran Urban and Suburban Railway Operation Company (Metro) was selected as the case study. Based on expert input, relevant evaluation criteria and alternative EDMS platforms were identified. Pairwise comparisons and network modeling were conducted using Super Decisions software. The results indicated that the Segalsun system, due to its technical and domain-specific capabilities, particularly in managing engineering and specialized documents, ranked highest among the alternatives. Furthermore, sensitivity analysis confirmed the stability of the prioritization outcomes under varying criteria weights. The proposed model not only provides a step-by-step procedure for EDMS selection in technical organizations but also demonstrates high reliability and applicability for similar entities aiming to align document management with strategic knowledge management goals.

Cite this article: Alinia Gardroudbari, H.; Ghazizadeh Hashemi, M.; Emadi, M.; Manafi, S.; Mirzaei, N. & Kalantari, M. (2026). A Model for Choosing Electronic Document Management System in Order to Create a Knowledge-Based Organization. *Urban Development Policy Making*, 2 (4), 465-474. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.535104.1053>



© Hadi Alinia Gardroudbari, Seyed Mostafa Ghazizadeh Hashemi, Seyed Mahmood Emadi, Somayeh Manafi, Negin Mirzaei, Mobina Kalantari
DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.535104.1053>

Introduction

Knowledge is now recognized as a strategic resource and a core capability that enables organizations to adapt, innovate, and grow. As the nature of organizations evolves, knowledge-based models are replacing traditional labor- or capital-oriented ones. With the rapid advancement of technology, organizations face increasing volumes of information and documentation that must be efficiently managed. At the same time, the ability to share knowledge and integrate workflows across departments has become essential. One of the key challenges in knowledge management is converting individual, informal knowledge into structured, recorded knowledge that can be retained within the organization. This is especially critical in large technical organizations such as the Tehran Urban and Suburban Railway Operating Company, where the diversity of technical fields and geographic distribution of infrastructure intensify the need for a systematic approach to knowledge organization.

Methodology

To support organizational knowledge management, specialized systems are required that can handle the creation, storage, and sharing of documents and related content. Among these, electronic document management systems play a central role. This study focuses on developing a structured method to select the most suitable document management system tailored to organizational needs. The proposed model is based on a multi-criteria decision-making framework, which considers multiple, interrelated evaluation factors. The analytic network process was chosen due to its capacity to address dependencies among decision criteria. Using expert consultation through the Delphi method and library research, a set of key criteria and system alternatives were identified. The model was applied to a real-world case in the Tehran Metro organization to prioritize the criteria and select the optimal system.

Conclusion

The proposed selection model offers a systematic approach to choosing a document management system that aligns with organizational priorities and functional requirements. Among the evaluated options, the system with enhanced capabilities for managing technical and specialized documents was ranked highest, making it the most appropriate choice for the Tehran Metro. The results reflect the specific needs of a technical organization and were validated through sensitivity analysis, confirming the reliability of the model. This method can serve as a practical tool for similar organizations aiming to document and structure their knowledge assets effectively. Further research could expand the model to handle uncertainty and dynamic environments using advanced analytical methods.



الگوی جهت انتخاب سیستم مناسب مدیریت اسناد الکترونیکی در راستای ایجاد سازمان دانش محور شرکت بهره برداری متروی تهران

هادی علی نیا گردودباری^۱ | سیدمصطفی قاضی زاده هاشمی^{۲*} | سیدمحمود عمادی^۳ | سمیه منافی^۴ | نگین میرزایی^۵ | مبینا کلانتری^۶

۱. دانشجوی دکتری مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکده مهندسی انرژی و منابع پایدار، دانشکده‌گان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: hadi.alinia@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسؤل، رئیس دانشگاه حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری تهران، رایانامه: mostafaghazizadeh@gmail.com
۳. کارشناسی ارشد مهندسی صنایع گرایش سیستم و بهره‌وری، مسؤل برنامه‌ریزی، کنترل، نگهداری و تعمیرات خط و ابنیه شرکت بهره‌برداری متروی تهران. رایانامه: mahmood.emadi@gmail.com
۴. دکتری برنامه‌ریزی شهری و محقق در حوزه مدیریت شهری. رایانامه: s.manafi89@gmail.com
۵. دانشجوی دکتری مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکده مهندسی انرژی و منابع پایدار، دانشکده‌گان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: neginmirzaei@ut.ac.ir
۶. دانشجوی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشکده مهندسی انرژی و منابع پایدار، دانشکده‌گان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: mobina.kalantari@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰

کلیدواژه:

مستندسازی دانش،
مدیریت اسناد،
تصمیم‌گیری چندمعیاره،
فرایند تحلیل شبکه‌ای.

در عصر حاضر، مستندسازی دانش سازمانی به عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی حرکت به سوی سازمان‌های دانش‌محور شناخته می‌شود. با افزایش اهمیت مدیریت دانش و نقش زیرساخت‌های فناورانه در تسهیل آن، انتخاب سیستم مناسب مدیریت اسناد الکترونیکی به یکی از دغدغه‌های اصلی سازمان‌ها تبدیل شده است. هدف اصلی این پژوهش، ارائه الگوی کارآمد برای اولویت‌بندی و انتخاب سیستم مدیریت اسناد الکترونیکی مناسب به منظور مستندسازی دانش در سازمان‌ها است. در این راستا، از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) استفاده شده و با بهره‌گیری از تکنیک دلفی برای شناسایی معیارها و گزینه‌ها، فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) برای اولویت‌بندی به کار گرفته شده است. نوآوری پژوهش در ترکیب ساختار ANP با روش دلفی برای ارزیابی و انتخاب سیستم مدیریت اسناد در یک سازمان تخصصی است. خلأ پژوهش در مطالعات پیشین، نبود رویکرد یکپارچه و عملیاتی برای انتخاب سیستم‌های مدیریت اسناد با در نظر گرفتن وابستگی متقابل میان معیارها بوده است. در این مطالعه، شرکت بهره‌برداری راه‌آهن شهری تهران و حومه به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. پس از استخراج معیارها و گزینه‌ها و انجام مقایسات زوجی، گزینه Segalsun به عنوان مناسب‌ترین سیستم انتخاب شد. نتایج تحلیل حساسیت نیز نشان دادند اولویت‌بندی گزینه‌ها در برابر تغییرات وزنی معیارها پایدار است. یافته‌های پژوهش، علاوه بر ارائه مدلی عملیاتی برای انتخاب سیستم مدیریت اسناد، می‌تواند به عنوان الگوی برای سایر سازمان‌های مشابه با ساختار فنی - تخصصی مورد استفاده قرار گیرد.

استاد: علی نیا گردودباری، هادی؛ قاضی‌زاده هاشمی، سیدمصطفی؛ عمادی، سیدمحمود؛ منافی، سمیه؛ میرزایی، نگین و کلانتری، مبینا (۱۴۰۴). الگوی جهت انتخاب سیستم مناسب مدیریت اسناد الکترونیکی در راستای ایجاد سازمان دانش‌محور شرکت بهره‌برداری متروی تهران. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۲(۴) ۴۶۵-۴۷۴.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.535104.1053>

© هادی علی نیا گردودباری، سید مصطفی قاضی‌زاده هاشمی، سید محمود عمادی، سمیه منافی، نگین میرزایی، مبینا کلانتری

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.535104.1053>



۱. مقدمه

دانش به عنوان یک منبع استراتژیک و قابلیت کلیدی، نقش اساسی در ارتقای عملکرد و رقابت‌پذیری سازمان‌ها ایفا می‌کند. امروزه، سازمان‌های دانش‌محور جایگزین مدل‌های سنتی مبتنی بر سرمایه یا نیروی کار شده‌اند و مدیریت دانش به یکی از وظایف راهبردی در سازمان‌ها تبدیل شده است. با پیشرفت فناوری، نیاز به ابزارهای یکپارچه، توسعه‌پذیر و منعطف برای مدیریت اطلاعات و اسناد سازمانی و همچنین، تسهیم دانش میان کارکنان بیش از پیش احساس می‌شود. یکی از اهداف کلیدی مدیریت دانش، مستندسازی و تبدیل دانش ضمنی افراد به دانش صریح و مکتوب است تا از اتلاف دانش در صورت خروج کارکنان جلوگیری شود [۱ و ۲].

در این میان، اسناد سازمانی به‌ویژه اسناد بدون ساختار و پراکنده، چالشی جدی برای مدیریت دانش محسوب می‌شوند. بدون راهکار مناسب، به‌ویژه در سازمان‌های بزرگ و پیچیده‌ای مانند شرکت بهره‌برداری متروی تهران که با تنوع فنی و پراکندگی منابع مواجه هستند، بهره‌برداری از این دارایی‌های ارزشمند دشوار خواهد بود. سیستم‌های مدیریت اسناد الکترونیکی به عنوان بخشی از زیرساخت مدیریت دانش، امکان گردآوری، ذخیره‌سازی، بازیابی و اشتراک‌گذاری دانش سازمانی را فراهم کرده و ضمن کاهش هزینه‌ها، حافظه سازمانی را حفظ می‌کنند. از این رو، انتخاب دقیق و علمی چنین سیستمی اهمیت فراوانی دارد [۳]. پژوهش حاضر با هدف ارائه الگوی کارآمد و گام‌به‌گام برای انتخاب سیستم مناسب مدیریت اسناد الکترونیکی در سازمان‌ها انجام شده است. این الگو با توجه به تعدد و پیچیدگی معیارهای مؤثر بر انتخاب، مبتنی بر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره طراحی شده و از تکنیک دلفی برای شناسایی و اجماع بر سر معیارها و از فرایند تحلیل شبکه‌ای به منظور اولویت‌بندی گزینه‌ها بهره گرفته است. در راستای دستیابی به این هدف، ابتدا مفاهیم مدیریت دانش و جایگاه سیستم‌های مدیریت اسناد الکترونیکی در مدیریت دانش سازمانی به طور مختصر تشریح شده، سپس روش پیشنهادی معرفی و در نهایت، کاربست آن در شرکت بهره‌برداری راه‌آهن شهری تهران و حومه به عنوان مطالعه موردی ارائه شده است.

۲. پیشینه پژوهش

مدیریت دانش به عنوان یک رویکرد راهبردی، سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا با شناسایی و بهره‌برداری از دارایی‌های دانشی خود، عملکرد و رقابت‌پذیری‌شان را ارتقا دهند. این رویکرد با تمرکز بر سه محور انسان، ساختار و فناوری، تلاش می‌کند از طریق ایجاد زیرساخت‌های فناورانه و مستندسازی مؤثر، دانش صحیح را در زمان مناسب در اختیار افراد مناسب قرار دهد. مستندسازی دانش و تبدیل دانش ضمنی به دانش صریح از جمله اهداف کلیدی مدیریت دانش است، زیرا به سازمان‌ها کمک می‌کند از خطر از دست رفتن دانش به هنگام خروج کارکنان جلوگیری کرده و حافظه سازمانی را حفظ کنند [۴ و ۵].

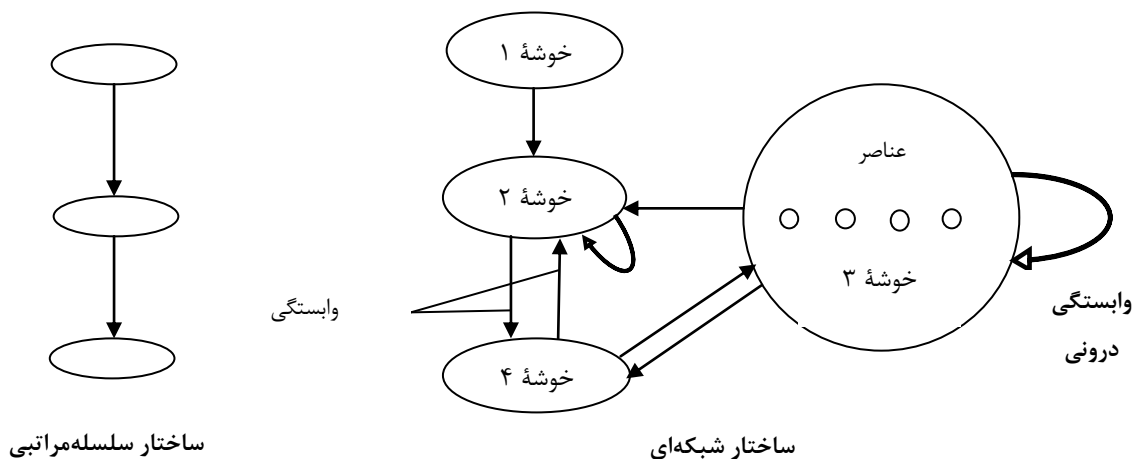
یکی از چالش‌های جدی مدیریت دانش، مدیریت صحیح اسناد سازمانی است. اسناد سازمانی به عنوان شواهدی از تصمیمات، فعالیت‌ها و مسئولیت‌های سازمانی، اهمیت زیادی در حفظ و انتقال دانش دارند. این اسناد ممکن است شامل اسناد عمومی یا اسناد فنی باشند. اسناد فنی به طور ویژه به اطلاعات مرتبط با محصولات یا خدمات سازمان اشاره دارد و شامل مستندات نظیر راهنمای کاربری، دستورالعمل بهره‌برداری، دستورالعمل نگهداری و تعمیرات، و راهنمای نصب و راه‌اندازی می‌شود [۶]. بر اساس تعریفی جامع از سوی هیئت تخصصی آلمانی TEKOM، اسناد فنی تمامی اطلاعات و داده‌های مرتبط با یک محصول را در چرخه عمر آن شامل می‌شود و به منظور طراحی، تضمین کیفیت، عرضه، استفاده ایمن و نگهداری مناسب نگهداری و به کار گرفته می‌شود. این دیدگاه جامع، که همه اسناد تولیدشده طی عمر محصول را در بر می‌گیرد، امروزه به عنوان یک رویکرد منطقی پذیرفته شده است [۵ و ۷].

با توجه به اهمیت مدیریت اسناد در مدیریت دانش، سازمان‌ها نیازمند ابزارهایی فناورانه و پیشرفته برای مدیریت مؤثر اسناد خود هستند [۸ و ۹]. سیستم‌های مدیریت اسناد الکترونیکی با هدف گردآوری، ذخیره‌سازی، بازیابی و اشتراک‌گذاری اسناد طراحی شده‌اند و به عنوان بخشی از زیرساخت مدیریت دانش عمل می‌کنند [۱۰]. این سیستم‌ها با یکپارچه‌سازی منابع اطلاعاتی مختلف، کاهش هزینه‌های عملیاتی و بهبود دسترسی به اطلاعات، نقش مهمی در بهره‌وری سازمان ایفا می‌کنند. علاوه بر این، این سیستم‌ها با سایر سامانه‌های اطلاعاتی سازمان مانند سیستم‌های مدیریت پروژه یا مدیریت ارتباط با مشتری قابل اتصال هستند و زمینه‌ساز استفاده بهینه از تجربیات گذشته و نوآوری‌های آینده می‌شوند [۱۱].

انتخاب یک سیستم مدیریت اسناد الکترونیکی مناسب، به دلیل تعدد معیارهای کمی و کیفی و نیز وجود وابستگی‌های متقابل میان آن‌ها، به یک مسئله تصمیم‌گیری پیچیده تبدیل می‌شود [۱۲ و ۱۳]. از این‌رو، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای حل این مسئله ضروری است. یکی از روش‌های شناخته‌شده برای شناسایی و اجماع بر سر معیارهای انتخاب، تکنیک دلفی است. این روش یک فرایند ساختاریافته مبتنی بر پرسش‌نامه‌های چندمرحله‌ای است که به صورت ناشناس و با هدف کاهش نفوذ نظرات غالب، میان خبرگان اجرا می‌شود. در این تکنیک، ابتدا پرسش‌نامه‌ای باز برای شناسایی معیارها تدوین می‌شود، سپس پاسخ‌ها تحلیل و در قالب پرسش‌نامه‌های ساختاریافته‌تر در مراحل بعدی ارائه می‌شود تا اجماع نهایی حاصل شود. مزیت اصلی روش دلفی در امکان بهره‌گیری از نظر جمعی و کاهش سوگیری‌های فردی در تصمیم‌گیری‌های پیچیده است [۱۴ و ۱۵].

پس از شناسایی و اجماع بر سر معیارها، انتخاب گزینه بهینه نیازمند روشی است که بتواند هم‌زمان تعاملات و وابستگی‌های میان معیارها را نیز لحاظ کند. در این زمینه، فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) به عنوان روشی توسعه‌یافته از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) معرفی شده است. ANP به خلاف AHP که ساختاری درختی و یک‌سویه دارد، امکان مدل‌سازی روابط متقابل و بازخورد میان معیارها و زیرمعیارها را در قالب یک شبکه فراهم می‌کند. ساختار ANP و تفاوت آن با ساختار AHP در شکل ۱ نشان داده شده است. مراحل اجرای ANP شامل مدل‌سازی شبکه، انجام مقایسه‌های زوجی، محاسبه ماتریس‌های ترجیح، تشکیل سوپرماتریس و در نهایت، استخراج اولویت‌های نهایی گزینه‌هاست. توانایی ANP در لحاظ کردن وابستگی‌های متقابل و ارائه نتایج دقیق‌تر، باعث شده است این روش در مطالعات بسیاری از جمله انتخاب نیروگاه، استراتژی لجستیک، پروژه‌های تحقیق و توسعه، پیش‌بینی بحران مالی و انتخاب ماشین‌آلات مورد استفاده قرار گیرد و کارایی خود را در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره به اثبات برساند [۱۶-۱۸].

مرور مطالعات گذشته نشان می‌دهد ترکیب تکنیک دلفی و فرایند تحلیل شبکه‌ای می‌تواند رویکردی مؤثر برای انتخاب سیستم‌های فناورانه در سازمان‌ها باشد. دلفی با شناسایی دقیق و اجماع بر سر معیارها و ANP با اولویت‌بندی گزینه‌ها در شرایط پیچیده، سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا بهترین گزینه را متناسب با نیازها و شرایط خاص خود انتخاب کنند.



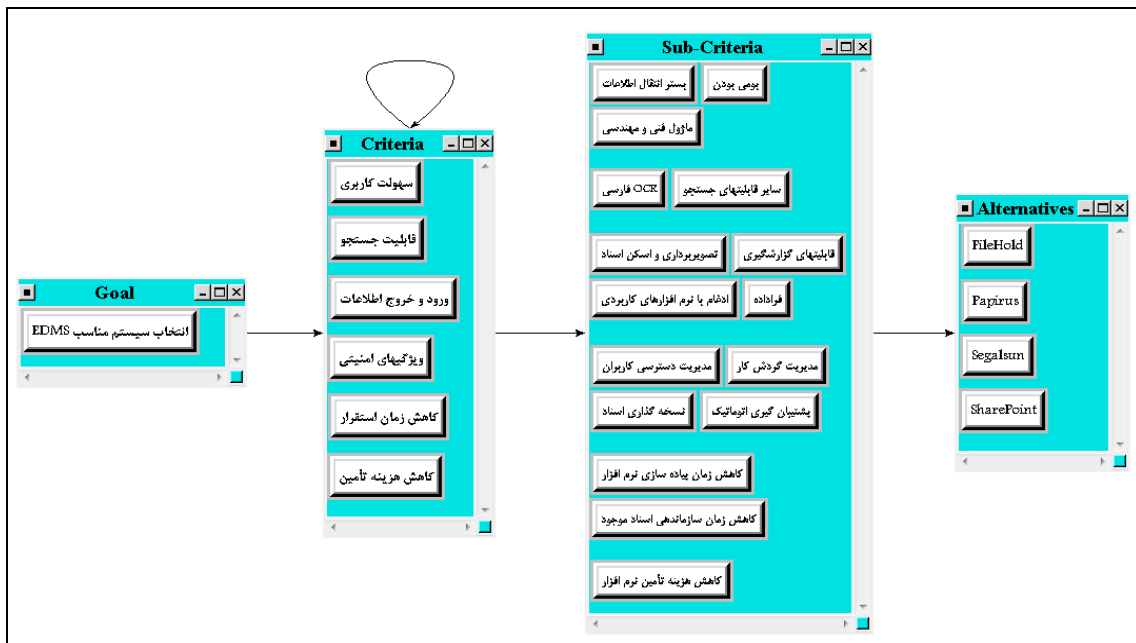
شکل ۱. مقایسه ساختار ANP و AHP

۳. روش پژوهش

تحقیق حاضر، توصیفی و از نوع پیمایشی مبتنی بر الگوریتم ANP است. روش گردآوری مقدماتی داده‌ها در این تحقیق به صورت کتابخانه‌ای بوده و جامعه آماری تحقیق شامل ۲۱ نفر از مدیران و کارشناسان پروژه مدیریت اسناد شرکت بهره‌برداری راه‌آهن شهری تهران و حومه است که به عنوان خبرگان این حوزه و برای گردآوری داده‌ها به روش دلفی در نظر گرفته شدند. برای تأیید اعتبار پاسخ‌ها نیز از پارامتر نسبت ناسازگاری حاصل از ماتریس‌های مقایسات زوجی استفاده شد. این تحقیق با بهره‌گیری از رویکرد ANP در چهار مرحله اصلی و با استفاده از نرم‌افزار Super Decisions انجام شده است.

در مرحله نخست، مدل و ساختار مسئله تعیین شد. با توجه به مطالعات کتابخانه‌ای و مرور ادبیات، مشخص شد تا کنون مدل جامعی برای ارزیابی سیستم‌های فناوری اطلاعات به دلیل دشواری تعیین هزینه‌ها و درآمدهای دقیق آن‌ها تحقق نیافته است. بنابراین، در شناسایی عوامل مؤثر بر انتخاب سیستم، لازم بود مجموعه‌ای از اهداف سازمانی شامل کیفیت، هزینه، زمان استقرار و نوآوری به عنوان محرک‌های کسب‌وکار در نظر گرفته شود. بر اساس این محرک‌ها و با توجه به نظرات خبرگان، شش معیار اصلی و شانزده معیار فرعی انتخاب شدند. همچنین، چهار گزینه FileHold، Papirus، Segalsun و SharePoint به عنوان گزینه‌های نرم‌افزارهای مدیریت اسناد الکترونیکی در نظر گرفته شدند. ساختار کلی مدل شبکه‌ای تصمیم‌گیری در نرم‌افزار Super Decisions در شکل ۲ نشان داده شده است.

در ادامه، مقایسات زوجی میان معیارها و گزینه‌ها انجام شد. برای این منظور، پرسش‌نامه‌های مقایسات زوجی شامل ۲۳ ماتریس برای هر یک از خبرگان ارسال شد. برای ترکیب نظرات خبرگان از میانگین هندسی استفاده شد تا خاصیت معکوس‌پذیری ماتریس‌ها حفظ شود. نرخ ناسازگاری تمام ماتریس‌های تجمیعی کوچک‌تر از ۱/۰ بود که نشان‌دهنده اعتبار داده‌هاست. در شکل ۳، ماتریس تجمیع‌شده مقایسه معیارهای اصلی نسبت به هدف مسئله نمایش داده شده است.



شکل ۲. ساختار شبکه‌ای انتخاب نرم‌افزار مدیریت اسناد فنی

Comparisons wrt "EDMS سیستم مناسب" node in "Criteria" cluster

Graphic Verbal Matrix Questionnaire

Comparisons wrt "EDMS سیستم مناسب" node in "Criteria" cluster
 قابلیت جستجو is strongly more important than سهولت کاربری

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10											
1. سهولت کاربری	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	قابلیت جستجو	
2. سهولت کاربری	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	ورود و خروج اطلاعات	
3. سهولت کاربری	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	ویژگیهای امنیتی
4. سهولت کاربری	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	کاهش زمان استقرار	
5. سهولت کاربری	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	کاهش هزینه تأمین	
6. قابلیت جستجو	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	ورود و خروج اطلاعات	
7. قابلیت جستجو	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	ویژگیهای امنیتی	
8. قابلیت جستجو	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	کاهش زمان استقرار	
9. قابلیت جستجو	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	کاهش هزینه تأمین	
10. ورود و خروج اطلاعات	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	ویژگیهای امنیتی	

شکل ۳. ماتریس تجمیع‌شده مقایسه دودویی معیارهای اصلی نسبت به هدف

در گام بعد، سوپرماتریس تشکیل شد. سوپرماتریس روابط درونی و بیرونی میان معیارها و گزینه‌ها را در قالب یک شبکه مدل می‌کند و وزن‌های نسبی عناصر در آن جای‌گذاری می‌شود. در شکل ۴، نمونه‌ای از سوپرماتریس برای یک ساختار سلسله‌مراتبی و در شکل ۵ بخشی از سوپرماتریس تشکیل‌شده به منظور انتخاب سیستم مدیریت اسناد الکترونیکی در نرم‌افزار Super Decisions نمایش داده شده است.

$$W_a = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ W_{21} & W_{22} & 0 \\ 0 & W_{32} & I \end{bmatrix}$$

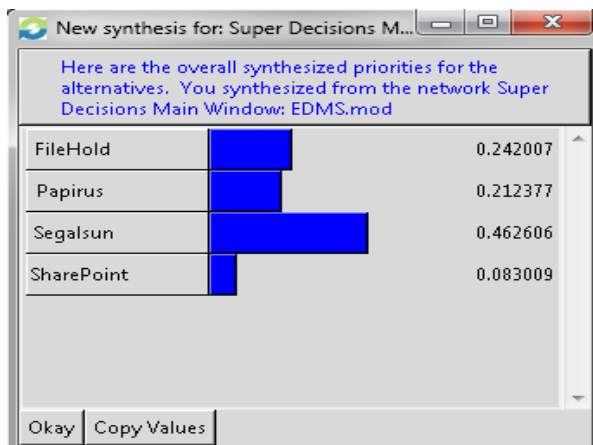
شکل ۴. سوپرماتریس تشکیل‌شده برای یک ساختار سلسله‌مراتبی ۳ سطحی

Cluster Node Labels		Criteria			Goal	Sub-Criteria			
		بزرگ‌بندی امنیتی	کاهش زمان استقرار	کاهش هزینه تأمین	انتخاب مناسب سیستم EDMS	اقدام با نرم افزارهای کاربردی	بستر انتقال اطلاعات	بومی بودن	تصویربرداری و اسکن اسناد
Alternatives	FileHold	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.354551	0.289045	0.151147	0.307692
	Papyrus	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.196164	0.226014	0.342583	0.307692
	Segalsun	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.373439	0.394456	0.446527	0.307692
	SharePoint	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.075846	0.090485	0.059744	0.076923
Criteria	سهرلث کاربری	0.000000	0.188289	0.097410	0.314792	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	قابلیت جستجو	0.000000	0.049985	0.216779	0.064345	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	ورود و خروج اطلاعات	0.000000	0.182464	0.088401	0.184927	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	بزرگ‌بندی امنیتی	0.000000	0.049985	0.097410	0.284926	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

شکل ۵. بخشی از سوپرماتریس تشکیل‌شده برای انتخاب سیستم مدیریت اسناد الکترونیکی

۴. نتایج و بحث

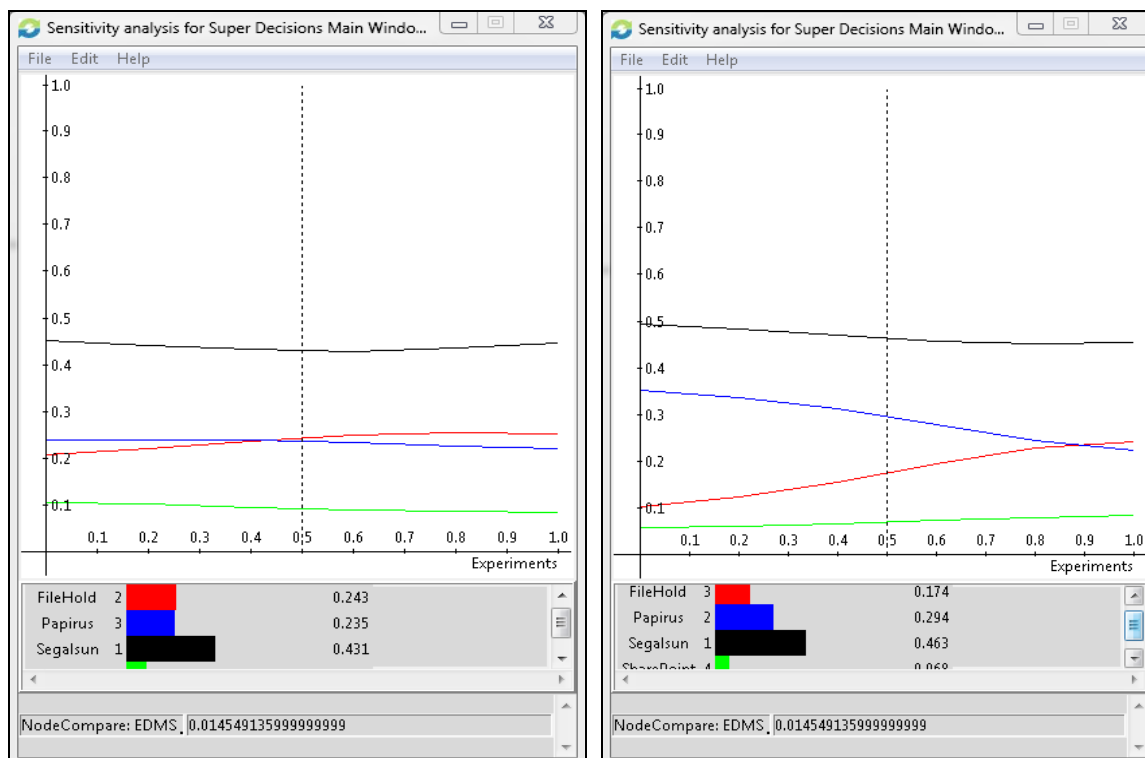
پس از تشکیل سوپرماتریس و اجرای مراحل الگوریتم ANP، وزن‌های نهایی گزینه‌های سیستم مدیریت اسناد الکترونیکی به دست آمد. نتایج نشان داد گزینه Segalsun به دلیل برخورداری از قابلیت‌های فنی و تخصصی بیشتر، علی‌رغم هزینه اولیه بالاتر، در اولویت نخست قرار گرفت. این یافته با مقتضیات و شرایط فنی شرکت بهره‌برداری راه‌آهن شهری تهران و حومه، که به عنوان یک نهاد تخصصی در صنعت حمل‌ونقل ریلی فعالیت می‌کند، کاملاً هم‌خوانی دارد و انتخاب آن از پشتوانه منطقی برخوردار است. شکل ۶ وزن‌های نرمال‌شده گزینه‌های مختلف و شکل ۷ رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها را نمایش می‌دهد. برای اطمینان از پایداری و قابلیت اتکای نتایج به‌دست‌آمده، تحلیل حساسیت روی وزن‌های نهایی گزینه‌ها انجام شد. در این مرحله، تغییرات در وزن معیارهای اصلی و فرعی اعمال و تأثیر آن‌ها بر اولویت‌بندی گزینه‌ها بررسی شد. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد حتی با تغییر در وزن معیارها، اولویت گزینه Segalsun تغییر محسوسی نداشته و نتایج حاصل پایدار بوده‌اند. این موضوع نشان‌دهنده سطح بالای قابلیت اطمینان مدل تصمیم‌گیری طراحی‌شده در این پژوهش است. برای نمونه، در شکل ۸ بخشی از نتایج تحلیل حساسیت ارائه شده است.



شکل ۶. وزن نهایی گزینه‌های سیستم مدیریت اسناد الکترونیکی

Alternatives	Total	Normal	Ideal	Ranking
FileHold	0.0786	0.2420	0.5231	2
Papirus	0.0690	0.2124	0.4591	3
Segalsun	0.1503	0.4626	1.0000	1
SharePoint	0.0270	0.0830	0.1794	4

شکل ۷. رتبه‌بندی گزینه‌های سیستم مدیریت اسناد الکترونیکی



شکل ۸. نمونه‌هایی از تحلیل حساسیت نتایج فرایند تحلیل شبکه‌ای

نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آن است که استفاده از رویکرد ترکیبی دلفی-ANP در انتخاب سیستم‌های فناوریانه، می‌تواند به سازمان‌ها در شناسایی گزینه‌های متناسب با شرایط و نیازهای خاص آن‌ها کمک کند. در این مطالعه، معیارهای شناسایی شده و وزن‌دهی شده متناسب با شرایط سازمانی تدوین شدند و وزن‌های نهایی گزینه‌ها نیز با شرایط فنی و تخصصی سازمان مورد

مطالعه هم‌خوانی داشتند. همچنین، تحلیل حساسیت انجام‌شده نشان داد مدل از دقت و ثبات کافی برای تعمیم در شرایط مشابه برخوردار است.

۵. نتیجه‌گیری

مدیریت اثربخش اسناد الکترونیکی، یکی از الزامات اساسی در تحقق سازمان‌های دانش‌محور و پویای امروزی است. با توجه به گسترش حجم داده‌ها و پیچیدگی فرایندهای تصمیم‌گیری، انتخاب صحیح سیستم مدیریت اسناد الکترونیکی می‌تواند نقشی کلیدی در ارتقای بهره‌وری، امنیت اطلاعات و تسهیل جریان دانش ایفا کند.

در این پژوهش، الگوی تصمیم‌گیری مبتنی بر روش ANP برای انتخاب سیستم مدیریت اسناد الکترونیکی طراحی و پیاده‌سازی شد. به منظور شناسایی و اجماع معیارها، از روش دلفی استفاده شد و پس از تشکیل شبکه تصمیم‌گیری، تحلیل‌های ساختاری در قالب مقایسات زوجی، سوپرماتریس و تحلیل حساسیت انجام گرفت. این روش در شرکت بهره‌برداری راه‌آهن شهری تهران و حومه به عنوان مطالعه موردی به کار گرفته شد. نوآوری اصلی این تحقیق، توسعه یک الگوی ترکیبی با قابلیت مدل‌سازی وابستگی‌های درونی و بیرونی میان معیارها و گزینه‌ها در فضای تصمیم‌گیری چندمعیاره است. این مدل با تکیه بر ساختار شبکه‌ای ANP، امکان بررسی دقیق‌تر تعامل میان عوامل اثرگذار را فراهم می‌کند و نسبت به مدل‌های خطی از دقت و واقع‌گرایی بیشتری برخوردار است. در ادبیات موجود، غالباً از روش‌های تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی و یا رویکردهای ساده‌تر برای انتخاب سامانه‌های مدیریت اسناد استفاده شده و روابط وابسته میان معیارها در نظر گرفته نشده است. این پژوهش، با پر کردن این خلأ، مدلی ارائه می‌دهد که قابلیت استفاده در سازمان‌های مشابه را نیز دارد.

نتایج پژوهش نشان داد گزینه Segalsun، با کسب بالاترین وزن نهایی، به عنوان مناسب‌ترین سیستم برای پیاده‌سازی در شرکت بهره‌برداری مترو تهران انتخاب شد. این سیستم به‌ویژه به دلیل برخورداری از ماژول مدیریت اسناد فنی و تخصصی و قابلیت‌های جانبی برتر، علی‌رغم هزینه اولیه بالاتر، از ارجحیت بالایی نزد خبرگان برخوردار بود. خروجی نهایی مدل نشان داد این سیستم با ویژگی‌های مورد نیاز شرکت از منظر فنی و کارکردی هم‌خوانی بالایی دارد. همچنین، تحلیل حساسیت نتایج نشان داد تغییرات در وزن‌دهی معیارهای اصلی و فرعی تأثیر معناداری بر رتبه‌بندی گزینه‌ها نداشته و در اغلب سناریوها، انتخاب Segalsun پایدار باقی ماند. این یافته‌ها، قابلیت اطمینان و دقت مدل تصمیم‌گیری را تأیید می‌کنند و استفاده از آن را در موقعیت‌های مشابه توصیه‌پذیر می‌سازد. برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود که با وارد کردن مفاهیم عدم قطعیت و استفاده از روش‌های فازی، نتایج مدل به محیط‌های رقابتی‌تر و شرایط غیرقطعی تعمیم داده شود تا تصمیم‌گیری در شرایط واقعی و پویا امکان‌پذیر شود.

منابع

1. Desouza KC, Paquette S. Knowledge management: An introduction. *J Digit Media Manag.* 2013;2(1):74–7.
2. Nonaka I, Takeuchi H. *The wise company: How companies create continuous innovation.* Oxford University Press; 2019.
3. Alavi M, Leidner DE. Knowledge management and knowledge management systems: Conceptual foundations and research issues. *MIS Q.* 2001;107–36.
4. O'Dell C, Grayson J. *If only we knew what we know.* 1999;
5. Wen X, Wu G, Kang Q, Wang L, Zeng J. A study on customer knowledge management, inbound open innovation and firm performance. *Hum Syst Manag.* 2020;39(2):183–95.
6. Becerra-Fernandez I, Sabherwal R. *Knowledge management: Systems and processes.* Routledge; 2014.
7. Gencer C, Gürpınar D. Analytic network process in supplier selection: A case study in an electronic firm. *Appl Math Model.* 2007;31(11):2475–86.
8. Zantout H, Marir F. Document management systems from current capabilities towards intelligent information retrieval: an overview. *Int J Inf Manage.* 1999;19(6):471–84.
9. Papandreou CA, Adamopoulos DX. Architecture of a multimedia communication system for technical documentation in a modern factory. *Comput Ind.* 1998;36(1–2):83–93.
10. Park Y, Kim S. Knowledge management system for fourth generation R&D: KNOWVATION. *Technovation.* 2006;26(5–6):595–602.
11. Gupta JND, Sharma SK. *Creating knowledge based organizations.* Igi Global; 2004.
12. Ahmadi A, Saifoddin Asl AA. Economic and Environmental Comparison of Various Fluids in a Carbon Capture System Using the Brayton Cycle with Recompression and Recuperation Cycles. *J Sustain Energy Syst.* 2024;3(3):289–301.
13. Yao YH, Trappey AJC, Ho PS. XML-based ISO9000 electronic document management system. *Robot Comput Integr Manuf.* 2003;19(4):355–70.
14. Mokhtari R, Mirzaei N, Ebrahimi Zaker S, Abdoos M. Multi-Criteria GIS Analysis of Solar Energy Deployment in Alborz Province: A Case Study on 10 MW PV Plant Siting and Environmental Impact. *Sustain Energy Stud.* 2025;
15. Hsu CC, Sandford BA. The Delphi technique: making sense of consensus. *Pract assessment, Res Eval.* 2007;12(1).
16. Yüksel İ, Dagdeviren M. Using the analytic network process (ANP) in a SWOT analysis—A case study for a textile firm. *Inf Sci (Ny).* 2007;177(16):3364–82.
17. Saaty TL, Vargas LG. *Decision making with the analytic network process.* Vol. 282. Springer; 2006.
18. Ebrahimi Zaker S, Esmaeilnejad H, Mirzaei N. Assessment of Urban Waste Disposal Practices and Their Impacts on Ecosystem and Public Health. *J Urban Dev Policy Manag.* 2025.



Review of international policies and experiences in the multi-purpose utilization of urban underground spaces with a security-enhancement approach

Mojtaba Araghizadeh 

Ph.D of passive defense strategic management, supreme national defense university, Tehran, Email: mojtabarezvani313@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:

Received 10 April 2025

Revised 10 May 2025

Accepted 11 July 2025

Published Online 11 September 2025

Keywords:

Shelter,
Metro Station,
Threat,
Tehran City.

ABSTRACT

This research aims to explore and introduce selected international experiences in the multi-purpose utilization of urban subsurface spaces as shelters or secure areas with alternative functions, and to derive operational strategies applicable to Tehran. Framed as an applied study, the research adopts a review-based approach to analyze global precedents, with the goal of developing a structured model for their contextual adaptation in Iran. Case studies from the United Kingdom, Russia, Ukraine, and Israel were examined, chosen both for the availability of essential data and for their relative similarity to Tehran's current urban and security conditions. Findings highlight that metro stations, due to their centrality in citizens' daily routines and their associated sense of familiarity and psychological attachment, have historically been the most widely utilized civilian shelters during wars and bombardments. Despite Tehran's extensive infrastructure—comprising approximately 160 metro stations, multi-story parking structures, underground commercial complexes, and tunnels—the city has so far lacked a clear framework for the multi-purpose use of these spaces in wartime, primarily due to the long absence of direct hard-security threats. However, in the aftermath of the significant experience of the 12-day imposed war led jointly by Israel and the United States against Iran, an urgent need has emerged to adopt an operational and intelligent approach for preparing these spaces to serve as civilian shelters in the event of future attacks. The study concludes by proposing a seven-stage process for transforming Tehran's metro stations into functional shelters, offering a practical roadmap for enhancing urban resilience and crisis preparedness.

Cite this article: Araghizadeh, M. (2026). Review of international policies and experiences in the multi-purpose utilization of urban underground spaces with a security-enhancement approach. *Urban Development Policy Making*, 2 (4), 475-490. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.533304.1054>



© Mojtaba Araghizadeh

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.533304.1054>

Introduction

Nowadays, urban subsurface spaces are not only recognized as an accepted component in most major cities around the world, but also considered a sustainable solution to environmental and traffic-related challenges. Metro stations and lines, urban tunnels, multi-level parking structures, energy transmission infrastructure, and more are just some of the subsurface spaces currently in use in modern cities. On the other hand, the high cost of constructing such spaces makes their multifunctional use a highly cost-effective strategy to offset initial construction expenses. For example, incorporating commercial and advertising functions within metro stations—something now widely seen in Tehran—demonstrates how these spaces can serve multiple purposes simultaneously. This study aims to identify and introduce selected international experiences in the multi-purpose use of urban underground spaces as shelters or safe zones with alternative functions, and to extract actionable strategies for Tehran.

Methodology

The research falls under the category of applied studies, seeking to establish a clear model and process for implementing these experiences in Tehran through the analysis of historical and global cases. To this end, the experiences of countries such as the United Kingdom, Russia, Ukraine, and the Zionist regime were examined.

Results

It was found that metro stations have historically been the most utilized spaces by citizens during times of war and bombing. These stations, being part of the daily commute and familiar environments for the public, provided a sense of psychological comfort and attachment, making them a more welcomed option for shelter. Despite Tehran possessing around 160 metro stations, numerous multi-level parking structures, and various underground commercial spaces, it has so far lacked a specific plan for their multi-functional use in wartime, largely due to the prolonged absence of major threats. However, following the recent experience of a 12-day imposed war by the Zionist regime and the United States against Iran, it is now necessary to adopt an intelligent and operational approach to prepare these spaces to shelter people in the event of future attacks.

Conclusion

The insights gathered from this study have led the author to formulate a seven-stage process to convert Tehran's metro stations into shelters, which is presented here as below:

1. **Prioritization of Stations:** Given urgent circumstances, it may not be feasible to equip all metro stations with minimum shelter requirements in the short term. Therefore, stations should be prioritized. Those located near key or high-risk areas—such as military and political sites or chemical storage facilities—must be identified and prioritized for sheltering measures.
2. **Formation of Expert Group and Initial Site Visits:** The first step is to form a team of experts in passive defense and metro operations. This team should visit prioritized stations to answer two key questions: 1. Can the station be converted into a shelter? 2. What resources and facilities are required for the conversion?
3. **Drafting of Initial Plans:** Based on the specific conditions of each station, the expert team, along with design specialists, should create preliminary maps for shelter layout. Key positions and functions must be mapped out, including: - Passenger sheltering layout - Locations of command and security teams - Sanitation areas, etc.
4. **Capacity Assessment**
5. **Procurement of Resources Necessary items**
6. **Staff and Management Training:** Shelter management groups—led by the station manager or designated personnel—alongside metro staff, auxiliary forces, or volunteers, should receive basic training in shelter procedures and role distribution. Guidance tools such as handheld speakers and portable barriers should be provided if not already available at the station.
7. **Emergency Drills:** This final phase involves repeated practice of trained procedures to identify and resolve operational gaps. A specialized monitoring team should observe exercises, document flaws and areas for improvement, and deliver operational recommendations to the shelter management.



بررسی سیاست‌ها و تجارب بین‌المللی در بهره‌گیری چندمنظوره از فضاهای زیرسطحی شهری با رویکرد ارتقای امنیت شهری

مجتبی عراقی‌زاده

دکتری مدیریت راهبردی پدافند غیرعامل، دانشگاه عالی دفاع ملی، تهران. رایانامه: mojt_civil@mut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰

کلیدواژه:

پناهگاه،

ایستگاه مترو،

تهدید،

شهر تهران.

این پژوهش با هدف شناسایی و معرفی برخی از تجارب بین‌المللی در بهره‌گیری چندمنظوره از فضاهای زیرسطحی شهری به عنوان پناهگاه یا فضاهای امن با کاربری‌های دیگر و استخراج راهکارهایی عملیاتی برای شهر تهران به انجام رسیده است. نوع پژوهش در زمره پژوهش‌های کاربردی است که در آن با بررسی مروری سوابق و تجارب بین‌المللی تلاش می‌شود به الگو و فرآیندی مشخص برای استفاده از این تجارب در شهر تهران دست یافت. به این منظور، تجارب کشورهای هم‌چون انگلستان، روسیه، اوکراین و رژیم صهیونیستی مورد بررسی قرار گرفت. علت انتخاب این چهار کشور، در دسترس بودن داده‌ها و اطلاعات حداقلی مورد نیاز برای بررسی و نزدیکی شرایط به شرایط فعلی شهر تهران بوده است. در این بررسی‌ها مشخص شد بیشترین فضایی که در دوران جنگ‌ها و بمباران‌ها مورد استفاده شهروندان قرار می‌گرفته، ایستگاه‌های مترو بوده است. این ایستگاه‌ها از آنجا که محل رفت‌وآمد روزانه مردم بوده و از نظر ذهنی و روانی مردم حس آشنایی و تعلق بیشتری به آن داشته‌اند، بیشتر مورد استقبال قرار گرفته و به عنوان پناهگاه استفاده شده است. هرچند شهر تهران با داشتن حدود ۱۶۰ ایستگاه مترو، پارکینگ‌های متعدد طبقاتی و فضاهای تجاری زیرزمینی، تونل و غیره به دلیل دورانگاری بروز تهدیدهای سخت تا کنون فاقد برنامه مشخصی برای استفاده چندمنظوره از این فضاها در زمان جنگ بوده است، اما اکنون و پس از گذراندن تجربه مهم جنگ تحمیلی ۱۲ روزه رژیم صهیونیستی و آمریکا علیه کشورمان باید با رویکردی عملیاتی و هوشمندانه، نسبت به آماده‌سازی این فضاها با هدف پناه‌بخشی به مردم در زمان موج‌های احتمالی حملات آتی خود را آماده کند. تجارب به‌دست‌آمده از این پژوهش نگارنده را در انتهای پژوهش به فرآیندی هفت‌مرحله‌ای به منظور تبدیل ایستگاه‌های مترو تهران به پناهگاه رسانده که در بخش نتیجه‌گیری قابل مشاهده است.

استناد: عراقی‌زاده، مجتبی (۱۴۰۴). بررسی سیاست‌ها و تجارب بین‌المللی در بهره‌گیری چندمنظوره از فضاهای زیرسطحی شهری با رویکرد ارتقای امنیت شهری. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۲ (۴) ۴۷۵-۴۹۰.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.533304.1054>

© مجتبی عراقی‌زاده

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.533304.1054>



۱. مقدمه

فضاهای زیرسطحی شهری، امروزه نه تنها به عنوان یک فضای پذیرفته شده در بیشتر شهرهای بزرگ دنیا شناخته شده اند، بلکه به عنوان راه‌حلی پایدار به منظور رفع معضلات زیست‌محیطی و ترافیکی نیز به شمار می‌آیند. ایستگاه‌ها و خطوط مترو، تونل‌های شهری، پارکینگ‌های طبقاتی، زیرساخت‌های انتقال انرژی و غیره تنها بخشی از فضاهای زیرسطحی هستند که در شهرهای کنونی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. از طرف دیگر، هزینه بالای احداث چنین فضاهایی، بهره‌گیری چندمنظوره از این فضاها را به منظور تأمین هزینه‌های اولیه ساخت کاملاً امری به‌صرفه می‌کند. به عنوان نمونه، می‌توان به ایجاد کاربری‌های تجاری - تبلیغاتی در سطح ایستگاه‌های مترو اشاره کرد که هم‌اکنون در شهر تهران نیز به فراوانی یافت می‌شود.

اما آنچه طی سالیان گذشته در کشور ما مغفول واقع شده، امکان بهره‌گیری از فضاهای زیرسطحی شهری با رویکرد ارتقای امنیت شهر است. مطالعه این مسئله در عرصه جهانی بیانگر آن است که از بیش از یکصد سال پیش تا کنون، فضاهای زیرزمینی شهری در برخی کشورها از جمله انگلستان نقش بسیار چشمگیر و بسزایی در کاهش تلفات انسانی در جنگ‌ها داشته‌اند. اما در کشور ما با وجود استمرار تهدیدهای نظامی و امنیتی، هیچ‌گاه به این مسئله به عنوان یک راه‌حل پایدار و امنیت‌بخش نگریسته نشده است. به نظر می‌رسد بخشی از این مسئله ناشی از عدم آگاهی و اطلاع مدیران و برنامه‌ریزان شهری از این مسئله بوده است. لذا پژوهش حاضر به دنبال نشان دادن بخش کوچکی از سوابق گسترده بهره‌گیری چندمنظوره از فضاهای زیرزمینی شهری با رویکرد امنیت‌بخشی به شهر است. اگر چنین پژوهش‌هایی به انجام نرسد، مدیریت شهری تهران برای دستیابی به راهکارهای امنیت‌بخشی به شهر در برابر حملات هوایی با چالش عدم دسترسی به سوابق و تجارب بین‌المللی مواجه خواهد شد و در اتخاذ تصمیمات نمی‌تواند از درس‌آموخته‌های سایر کشورها بهره‌برد. همچنین، این تحقیق با محدودیت عدم امکان دسترسی به اطلاعات تفصیلی و دقیق مترو - پناهگاه‌های بین‌المللی مواجه بوده است.

در این راستا، تلاش محقق بر آن است که ضمن آوردن مثال‌هایی از کشورهای مختلف، کاربری‌های متفاوت شهری که مورد بهره‌گیری به عنوان فضای پناهگاهی شده‌اند را معرفی کند. در پایان نیز درس‌آموخته‌های این تجارب شهری برای شهر تهران بیان می‌شود. در واقع، وجه نوآوری پژوهش حاضر نسبت به پژوهش‌های پیشین در ارائه راهکارهای عملیاتی برای شهر تهران است که بر اساس تجارب سایر کشورها به دست آمده است.

امید است چنین مقالات و پژوهش‌هایی، گام‌های نخستین امنیت‌بخشی پایدار به پایتخت و سایر شهرهای بزرگ کشور از طریق ظرفیت‌های موحد زیرسطحی شهر باشد.

۲. تعاریف و مفاهیم پایه

فضای امن

فضای امن به فضایی گفته می‌شود که در مقابل اثرات بارهای ناشی از انفجار، کمتر در معرض خطر قرار گرفته و نسبت به سایر فضاهای ساختمان از ایمنی و مقاومت بیشتری برخوردار باشد. فضای امن حتی‌المقدور باید به صورت دو یا چند منظوره مورد بهره‌برداری قرار گیرد [۱].

پناهگاه

مکان بسته‌ای است که به دلیل طراحی تخصصی و کاربری خاص در مقابل انواع تهدیدها، نسبت به ساختمان‌های متعارف از درجه حفاظت به مراتب بالاتری برخوردار باشد و امنیت جانی و روانی بیشتری را برای افراد فراهم کند [۱].

فضای دو یا چند منظوره

فضایی با قابلیت بهره‌برداری عملکردهای متفاوت از یک فضای معین در شرایط عادی و بحرانی ناشی از تهدیدهای دشمن [۱].

۳. پیشینه‌شناسی

طراحی و ساخت پناهگاه برای افراد غیرنظامی در جهان به‌ویژه بعد از جنگ جهانی دوم سابقه‌ای طولانی دارد. پدیده بمب اتمی، کشورهای کوچکی همچون سوئیس را بر آن داشت که در جنگ اتمی احتمالی میان ابرقدرت‌ها خود را حفظ کند. با آنکه این‌گونه کشورها در هیچ جنگی شرکت نداشته و نخواهند داشت، ولی می‌دانند که در هر یک از کشورهای همسایه اگر بمب اتمی منفجر شود، آن‌ها نیز آسیب خواهند دید. از این‌رو با هزینه مناسب، خود را از آثار انفجار اتمی با دستورالعمل‌های فنی و مهندسی و مدیریتی ملزم به ساخت پناهگاه برای هر بنای عمومی و خصوصی در سوئیس کرده‌اند [۲].

فضاهای پناهگاهی در دوره جنگ جهانی دوم به طور خاص برای مقابله با حملات هوایی دشمن سازماندهی می‌شدند. در این دوره بعضی از تأسیسات زیرزمینی موجود، ایستگاه‌های زیرزمینی مترو، سرداب‌های منازل با زیرزمین‌های بزرگ مجتمع‌های مسکونی و همچنین، تأسیسات روزمینی مانند پل‌های سنگی زیر خطوط راه‌آهن به عنوان پناهگاه توسط عموم مردم مورد استفاده قرار می‌گرفتند. علاوه بر این فضاها، در آن زمان نوعی پناهگاه بسیار ساده به نام پناهگاه اندرسون که با روی هم قرار دادن ورق‌های گالوانیزه در فضای باز مانند باغچه منازل ساخته می‌شد، در انگلستان بسیار مورد استفاده قرار می‌گرفت [۳].

برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری از فضای زیرزمینی به صورت کارا باید یکی از ملزومات اولیه توسعه‌های بزرگ اساسی زیرسطحی در شهرها باشد. این برنامه‌ریزی باید نیازهای بلندمدت را همراه با ارائه چارچوبی برای ارتقای کیفیت محیط‌های شهر به فضاهای مؤثر جهت زندگی و کار را مد نظر داشته باشد.

امنیت، دفاع و مسائل نظامی همیشه با استفاده از فضای زیرسطحی زمین عجین بوده‌اند. تأسیسات زیرزمینی، جان‌پناهی امن به همراه نقاط دسترسی اندک و حفاظت در برابر بمباران و گلوله‌پراکنی را فراهم می‌آورند. متخصصان تونل‌سازی و مواد منفجره در دوره‌های مختلف تاریخی در قوای نظامی به کار گرفته می‌شده‌اند تا با کندن تونل و جاگذاری مواد منفجره در زیر دیوار شهرها، استحکامات آن‌ها را از بین ببرند. در بسیاری از استحکامات تونل‌هایی وجود داشت که جان‌پناه و مسیرهای دسترسی و حرکت امن را طی زمان دفاع و جنگ فراهم می‌کردند. شاید دقیق‌ترین نمونه این سیستم‌ها، خطوط ماژینو در فرانسه باشد که بین جنگ‌های جهانی اول و دوم احداث شدند.

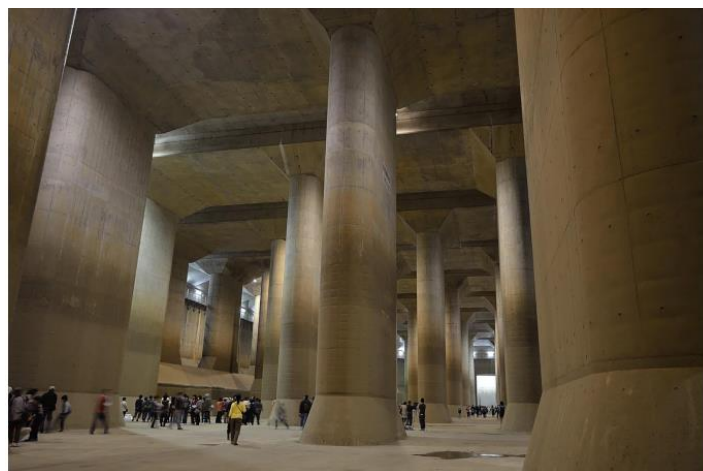
پناهگاه‌های مقاوم در برابر تشعشعات اتمی در دهه ۱۹۵۰ در آمریکا، از اهمیت فراوانی برخوردار شدند و بسیاری از خانواده‌ها در منازل مسکونی خود پناهگاه‌های کوچک این‌چنینی ایجاد کردند. در این دوران، تأسیسات تک‌منظوره عمومی کمی در ایالات متحده در زیر سطح زمین ایجاد شد [۴].

در بسیاری از کشورهای دیگر، به‌خصوص کشورهای اسکاندیناوی و سوئیس، عزمی پیوسته در مورد احداث سازه‌های زیرزمینی نظامی و دفاعی وجود داشته است. کاربردهای دفاعی عبارت است از: ایجاد مراکز مخابراتی زیرزمینی استکهلم، آرشیوهای ملی زیرزمینی (نروژ)، مخازن ذخیره سوخت زیرزمینی و پناهگاه‌های عمومی. با این‌وجود، تفاوت‌های بنیادی توسعه این کاربری‌ها ارتباط برنامه‌ریزی‌شده پناهگاه‌های دفاعی با جامعه و شهروندان است. این تأسیسات علاوه بر کاربری دفاعی، خود طوری برنامه‌ریزی و طراحی می‌شوند که بتوان از آن‌ها به عنوان سالن‌های ورزشی، استخرهای شنا و مراکز عمومی استفاده کرد. هزینه اضافی صرف‌شده برای تأمین ویژگی‌های دفاعی این بناها توسط دولت تأمین می‌شود، ولی بخش عمومی و شهرداری‌ها در ساخت چنین تأسیساتی با اثر کم بر سطح زمین مشارکت می‌کنند. در چین در دهه ۱۹۶۰ ایجاد تونل‌های زیرزمینی به عنوان پناهگاه در تضاد با توسعه یکپارچه زیرزمینی بود. تونل‌های دفاعی در زیر شهرهای بزرگ به دستور فوری مانو زدانگ ایجاد شدند. مقطع این تونل‌ها اکثراً باریک بود و توسط نیروی کار غیر متخصص ساخته شده بود. برای مثال در پکن، حدود ۵ هزار کیلومتر از این تونل‌ها وجود داشت که مسیرهای فرار از مرکز شهرها به سمت حومه‌ها را فراهم می‌کردند و پناهگاه‌های زیرزمینی را تشکیل می‌دادند. سرمایه‌گذاری در این تونل‌ها بسیار گسترده بود، اما اکثر این فضاها که در این دوران ایجاد شده‌اند فاقد کیفیت‌های لازم برای استفاده‌های غیردفاعی هستند. علی‌رغم اینکه نیاز شدید به فضای شهری در شهرهای چین وجود دارد. با توجه به این مشکل، چین امروزه راهبرد ترکیب نیازهای کاربری دفاعی و تأمین خدمات و تأسیسات عمومی را در پیش گرفته است [۴].

اما در چین امروزی به این نتیجه رسیده‌اند که بهره‌گیری از فضاهای زیرزمینی پیرامون ایستگاه‌های مترو به دلایلی همچون تراکم بالای شهری، رونق بالای اقتصادی و تجاری در این مناطق، دسترسی همگانی مناسب، پویایی و سرزندگی شهری، کاهش انتشار گاز کربن و کاهش خسارت‌های ناشی از بلایای طبیعی مزایای بسیار قابل توجهی داشته و کاملاً به‌صرفه است [۵].

برخی کاربردهای تخصصی‌تر تأسیسات زیرزمینی نظامی شامل سیلوهای انبار موشک، پایگاه‌های زیردریایی‌ها، انبار مواد منفجره و بسیاری دیگر از کاربری‌های خاص است. حفاظت بالقوه از این تأسیسات و دشواری ردیابی کردن ساختمان‌های زیرزمینی، آن‌ها را به گزینه‌ای مطلوب تبدیل می‌کند؛ اگر چه هزینه‌های بالای احداث آن‌ها و آسیب‌پذیری ناشی از عدم امکان حرکت این تأسیسات از نکات منفی آن‌ها است. برای رفع این معایب، راه‌حلهایی همچون ایجاد تونل‌های بلند که چندین سیلوی موشک را به هم متصل می‌کنند ارائه شد و به این ترتیب مکان دقیق نگهداری موشک‌ها به راحتی آشکار نمی‌شود. همچنین، برخی تأسیسات نظامی زیرزمینی به صورت خودکفا ایجاد شده‌اند؛ به این معنا که این تأسیسات دارای موشک‌ها و تجهیزات لازم برای انجام عملیات حفاری هستند [۴].

در زمان حاضر نیز بهره‌گیری از فضاهای زیرزمینی چندمنظوره در بسیاری کشورها رواج یافته است. از آن جمله می‌توان به کشور ژاپن اشاره کرد که فضاهای عظیم زیرزمینی برای مهار سیلاب در شهر توکیو تعبیه کرده است که هنگام وقوع بارش‌های شدید، نه تنها سیل در سطح شهر جاری نشده، بلکه با هدایت آن به فضای زیرزمینی و ذخیره آن، از این آب برای مصارف آبی شهری استفاده می‌کنند. در واقع با این اقدام، یک تهدید به فرصت تبدیل شده است. ضمن آنکه در شرایطی که این فضا خالی از آب است به عنوان یک جاذبه گردشگری به نمایش گذاشته می‌شود و از این طریق نیز بخشی از هزینه ساخت فضا خواهد گشت. در شهر روتردام کشور هلند نیز ایده مشابهی به اجرا درآمده است که فضای زیرزمینی با کاربری اولیه پارکینگ و کاربری ثانویه محل ذخیره سیلاب به اجرا درآمده است [۶].



شکل ۱. فضای زیرزمینی چندمنظوره ذخیره سیلاب در شهر توکیو [۶]

۳-۱. سابقه حمله هوایی به شهرهای کشور در دوران دفاع مقدس

در حالی که ایران برای تنبیه متجاوز اجرای عملیات نظامی را دنبال می‌کرد، عراق برای مقابله با این وضع و جلوگیری از شکست، حمله به جزیره خارک و مناطق غیرنظامی را برنامه‌ریزی کرده بود. در نتیجه پس از فتح خرمشهر، عراق حمله به شهرها را از سر گرفت و به موازات آن، به خارک حمله کرد. حمله عراق به شهرها به‌ویژه حمله موشکی به دزفول و حمله خمپاره‌ای به اهواز و دیگر مناطق مسکونی در دوره اول جنگ به طور متناوب انجام می‌شد. از آغاز عملیات رمضان حمله به مناطق مسکونی و افراد غیرنظامی به شکل جدید و گسترده‌ای از سر گرفته شد. به بیانی، حمله هوایی دشمن که در پی طراحی عملیات سرنوشت‌ساز رمضان و همچنین، شکست دشمن در عملیات کربلای ۱ تا ۳ در تیر و شهریور ۱۳۶۵ افزایش یافته بود ادامه یافت و در ماه‌های شهریور، مهر و آبان ۱۳۶۵ مناطق صنعتی، کارگری، اقتصادی و نفتی شهرها و مناطق مسکونی و عملیاتی زیر

شدیدترین حمله هوایی و بمباران قرار گرفتند. در حقیقت، عراق از این کار دو هدف را دنبال می‌کرد: یکی، هدف کوتاه‌مدت که جلوگیری از این عملیات سرنوشت‌ساز بود. دیگری، هدف بلندمدت که انهدام منابع انرژی و درآمد کشور و همچنین، به ستوه آوردن مردم و برانگیختن مخالفت آنان با جنگ و در نتیجه، تسلیم جمهوری اسلامی ایران و پذیرش آتش‌بس به شکلی که مطلوب رژیم عراق باشد. جمهوری اسلامی ایران در برابر اعمال ضد انسانی رژیم بعث عراق همواره پایبندی خود را به موازین بین‌المللی اعلام داشت و بر مبنای مواضع اصولی خود که برگرفته از تعالیم اسلامی و آرمان‌های بشری و اصول اخلاقی از قوانین حقوق بین‌المللی جنگ را به مورد اجرا گذاشت، اما پس از مدتی با شدت گرفتن حمله‌های عراق به مناطق غیرنظامی، ایران نیز وادار به مقابله شد [۷].

حملات موشکی عراق به شهرهای ایران از تاریخ ۱۷ مهرماه ۱۳۵۹ با اصابت سه فروند موشک فراگ ۷ به مناطق مسکونی شهر دزفول آغاز شد و از آن زمان به عنوان یکی از راهبردهای اصلی نظامی رژیم عراق در جنگ تبدیل شد [۸]. از آغاز تا پایان جنگ شهرها حدود ۱۲۷ شهر مورد تهاجم قرار گرفتند. در میان این شهرها آبادان با بیش از ۱۰۱۷ بار تهاجم بیش از همه مورد هدف واقع شد. شهر اهواز با ۳۱۶ و دزفول با ۲۴۱ بار حمله بیشترین آمار حمله را ثبت کردند. به طور کلی، ۷۶۸۷۳ نفر بر اثر حملات هوایی عراق به مراکز مسکونی هدف قرار گرفتند. بیشترین تعداد شهدا در یک بار تهاجم به شهرهای کشور ۸۰۰ نفر بوده که بر اثر تهاجم هواپیماهای دشمن به شهر کرمانشاه و در سال ۱۳۶۵ رخ داده است. بیشترین تعداد مجروحان نیز از شهر اهواز در سال ۱۳۶۷ و با آمار ۴ هزار نفر گزارش شده است. در مجموع، ۱۵۹۵۹ نفر در تهاجم به شهرها شهید شدند و ۵۰۰ شهر نیز خسارت اساسی دیدند. این آمار بنا به گزارش هیئت اعزامی سازمان ملل در سال ۱۳۷۰ به دست آمده است [۸].

حملات یادشده با اهداف تضعیف روحیه مردم ایران و ترغیب آن‌ها به فشار به مسئولان برای خاتمه جنگ، خنثی کردن عملیات‌های موفقیت‌آمیز ایران یا جبران ضعف و شکست ارتش عراق، پایین آوردن توان اقتصادی جمهوری اسلامی ایران، کاهش حرکت نیروهای رزمنده به سمت جبهه‌ها، تغییر موازنه جنگ و غیره انجام می‌گرفت [۸].

۲-۳. بیان تفکیکی سوابق کشورها

در ادامه به ارائه تفکیکی سوابق کشورها در بهره‌مندی از فضاهای زیرسطحی پرداخته می‌شود:

۱-۲-۳. کشور انگلستان

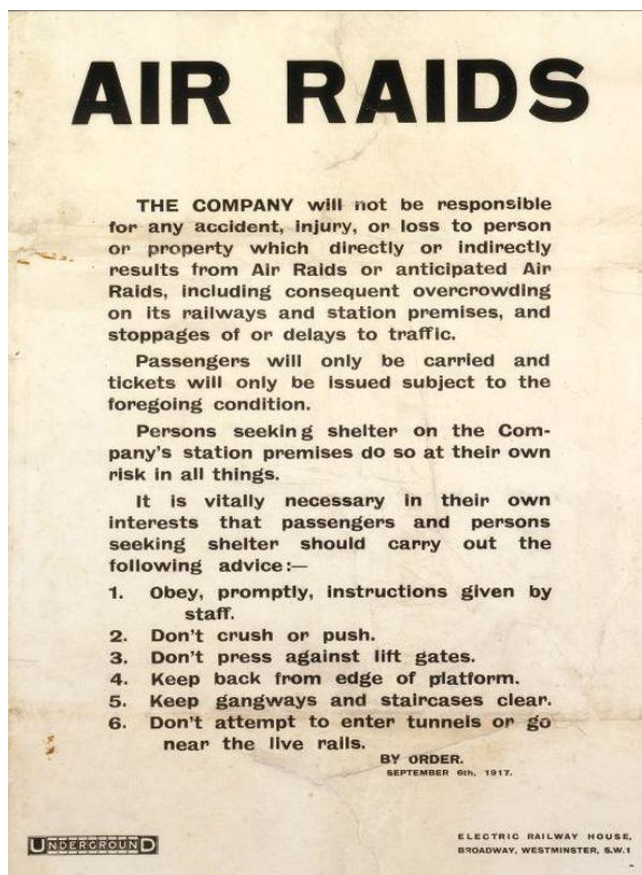
جنگ جهانی اول نوع جدیدی از حملات نظامی را به جهانیان معرفی کرد؛ استفاده از حملات استراتژیک هوایی بر ضد جمعیت غیرنظامی دشمن برای کاهش روحیه و اراده عمومی و به تبع آن، کاهش توان شهروندان برای مقاومت و ادامه دادن جنگ. حملات نیروی هوایی آلمان به کشورهای فرانسه، بلژیک و لهستان در آگوست ۱۹۱۴ آغاز شد و در ادامه حملات هدفمند علیه اهداف نظامی و غیرنظامی بریتانیا توسط مقامات آلمانی در دستور کار قرار گرفت. طی می تا اکتبر ۱۹۱۵، نیروی هوایی آلمان ۷ حمله هوایی را تنها در شهر لندن سازماندهی کرد. بریتانیا مانند بسیاری از کشورهای آن زمان فاقد برنامه مشخص دفاع شهری برای حمایت و محافظت از جان شهروندان و غیرنظامیان بود [۳].

مترو لندن در سال ۱۸۶۳ میلادی افتتاح شده و بین تمام متروهای جهان، قدیمی‌ترین محسوب می‌شود. در حال حاضر، مترو لندن دارای ۱۱، خط به طول ۴۰۲ کیلومتر، ۲۷۰ ایستگاه فعال است. عمق خط شمالی مترو لندن که در سال ۱۸۹۰ تأسیس شده است، ۵۸ متر و خط مرکزی که در سال ۱۹۰۰ احداث شد، ۷۴ متر و خط پیکادلی احداث شده در سال ۱۹۰۶، ۷۱ متر است [۹].

انگلستان شاید اولین کشوری است که طی تاریخ، از فضاهای زیرسطحی شهری به عنوان پناهگاه چندمنظوره در برابر حملات هوایی استفاده کرده است. سابقه استفاده از ایستگاه‌های مترو شهر لندن به منظور پناه‌بخشی به مردم به ۱۰۸ سال قبل یعنی سال ۱۹۱۷ میلادی بازمی‌گردد. اواسط جنگ جهانی اول، ساکنان لندن به طور خودجوش به منظور در امان ماندن از بمباران این شهر به ایستگاه‌های مترو پناه بردند و دولت انگلیس در ازای دریافت هزینه یک بلیت مترو به ازای هر نفر، اجازه اسکان شبانه به افراد در ایستگاه‌های مترو را می‌داد؛ به نحوی که عملکرد جابه‌جایی مسافران طی روز بدون هیچ‌گونه وقفه‌ای با

استفاده از قطارها انجام می‌شد. ضمن آنکه مترو لندن اعلام کرده بود هیچ‌گونه مسئولیتی در قبال جان پناهجویان ندارد و قوانین مشخصی نیز برای استفاده از این مکان تعیین کرده بود [۱۰].

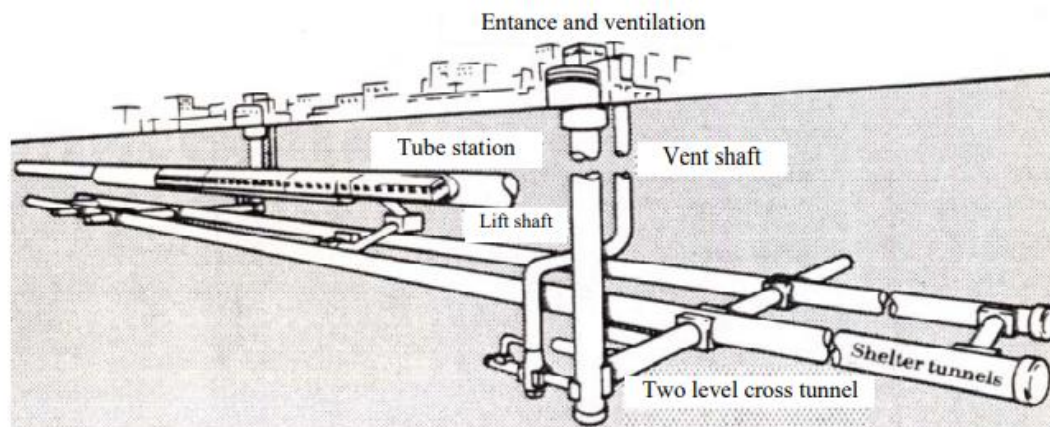
در شروع جنگ جهانی دوم وزیر امنیت ملی انگلیس (هربرت موریسون) موضوع استفاده از تونل‌ها و کانال‌های زیرزمینی مترو را به عنوان پناهگاه‌های عمومی برای حفاظت مردم مطرح کرد و رفع کمبود تسهیلات مورد نیاز برای پناه دادن جمعیت مردم شهری لندن در اولویت کاری دولت قرار گرفت. این کشور همچنین طی جنگ جهانی دوم ۱۰ پناهگاه ۱۲ هزار نفری احداث کرد. این پناهگاه‌ها به صورت تونل‌هایی موازی با تونل‌های قطار شهری ایجاد شدند و علاوه بر ورودی‌های مستقل، دسترسی به آن‌ها از طریق ایستگاه‌های مترو نیز ممکن بوده است [۹].



شکل ۲. نمونه دستورالعمل بهره‌گیری از مترو لندن در شرایط بمباران در سال ۱۹۱۷ [۱۱]

در دوره جنگ جهانی دوم به دلیل ظرفیت محدود ایستگاه‌ها، دولت انگلیس مجبور به ساخت هشت پناهگاه جدید شد. همچنین، این‌بار اقداماتی همچون تجهیز ایستگاه‌ها به کمک‌های اولیه و توالت‌های شیمیایی صورت پذیرفت، به نحوی که تا سال ۱۹۴۱ ظرفیت اسکان ایستگاه‌های مترو لندن به ۱۷۵ هزار نفر رسیده بود. در ادامه نیز نصب سامانه‌های روشنایی اضطراری، رنگ‌آمیزی دیوارها به رنگ سفید به منظور بهبود نیازهای روانی مردم و افزایش روشویی‌ها از جمله اقداماتی بود که وضعیت ایستگاه‌ها را به یک پناهگاه مجهز تبدیل می‌کرد. با وجود آنکه در ۱۴ اکتبر ۱۹۴۰ بمب روی یکی از ایستگاه‌ها افتاد که باعث کشته شدن ۶۸ نفر از پناهجویان و کارکنان مترو شد، اما باز هم ساکنان لندن، ماندن در ایستگاه‌ها را نسبت به فضاهای روستاحی ترجیح می‌دادند.

علاوه بر موارد یادشده، مترو لندن در تخلیه اضطراری شهر نیز نقش بسزایی ایفا کرد، به نحوی که در ماه‌های آگوست و سپتامبر ۱۹۳۹ توانست جمعیت یک میلیون و دویست و پنجاه هزار نفری را از شهر خارج کند. در شکل ۳ نمایی از ارتباط فضایی میان ایستگاه‌های مترو و پناهگاه‌های حفرشده در زیر آن‌ها قابل رؤیت است.



شکل ۳. موقعیت قرارگیری پناهگاه‌های اختصاصی در زیر ایستگاه‌های مترو [۱۲]



شکل ۴. تصویری گرافیکی از نحوه استقرار ساکنان لندن در ایستگاه‌های مترو [۹]

مسیرهای امن برای انتقال زیرساخت‌ها، از دیگر کاربری‌های خطوط و ایستگاه‌های مترو شهر لندن به شمار می‌روند. طی جنگ جهانی دوم یکی از تهدیدهایی که دولت انگلیس برای خود متصور بود، بمباران سامانه‌های ارتباطی اطلاعات شهر لندن بود. از آنجا که در صورت قطع شدن ارتباطات، مدیریت شرایط جنگ و کشور با مشکل جدی مواجه می‌شد، نخست‌وزیر وقت انگلیس ساخت تونل‌هایی امن برای قرار دادن کابل‌ها و سیم‌های ارتباطی را مورد توجه قرار داد. حفاظت از اطلاعات و ایمن‌سازی مخابرات، هدف این اقدام بود. در همین راستا و در بخشی از این مسیر امن، برای برقراری ارتباط میان کابینه و مرکز تبادل اطلاعات فارادی از تونل‌های از قبل آماده مترو استفاده شد [۱۳].

همچنین، از تعدادی از ایستگاه‌های مترو شهر لندن برای تکمیل اتصال خطوط ارتباطی امن داده‌ها در این شهر استفاده شد. به عنوان مثال، خطوط ارتباطی لازم از ایستگاه مقابل نخست‌وزیری به ایستگاه واترلو و سپس از آن ایستگاه نیز خطوط ارتباطی را به ایستگاهی در نزدیکی مرکز تبادل اطلاعات (فارادی) متصل کردند و در نهایت، با استفاده از تونل کوچکی که ایستگاه نهایی را به مرکز تبادل اطلاعات فارادی وصل می‌کرد، ارتباط میان اتاق جنگ کابینه، دفتر نخست‌وزیر و قطب ارتباطی لندن یعنی مرکز تبادل اطلاعات فارادی برقرار شد [۹].

از نکات مثبت قابل توجه در زمینه فضاهای امن زیرزمینی در کشور انگلستان می‌توان به سرعت بالای تغییر و امکان بهره‌گیری از فضاهای زیرزمینی موجود و تازه‌ساخت در شهرهای این کشور به‌خصوص لندن اشاره کرد. ابتدا تنها ایستگاه‌های مترو لندن پناهگاه بودند، اما به مرور زمان پناهگاه‌های اختصاصی و چندمنظوره متعددی در بازه زمانی کوتاهی در این شهر ساخته شد، اما فقدان برنامه‌ریزی دقیق برای کاربری این فضاها پس از جنگ باعث شده عمده این فضاها هم‌اکنون فقط به

کاربریهایی همچون انبارهای متروکه یا غیرضروری تبدیل شوند، در حالی که قرار بود این پناهگاهها بستر ساخت قطار سریع‌السیر لندن باشند که این اتفاق رخ نداد.

۳-۲-۲. کشور روسیه

ایستگاه‌های مترو مسکو نیز همانند لندن، طی جنگ جهانی دوم پذیرای خیل کثیری از ساکنان این شهر در زمان بمباران هوایی بودند، به طوری که در سال ۱۹۴۱ میلادی، جمعیتی حدود ۱۴ میلیون نفر در ایستگاه‌های مترو این شهر پناه داده شدند. این ایستگاه‌ها تا ساعت ۱۰ شب وظیفه جابه‌جایی مسافران را به عهده داشت و از ۱۰ شب تا ۵ صبح به عنوان پناهگاه برای پناه‌بخشی به مردم مورد استفاده قرار می‌گرفت.



شکل ۵. تصویری یکسان در دو بازه زمانی متفاوت از مترو مسکو [۱۴]

در هر ایستگاه، ۲۵ سرویس بهداشتی مستقر بود. پزشک تمام‌وقت درون ایستگاه اقامت داشت و در بازه‌های زمانی مشخصی به کودکان شیر و نان سفید داده می‌شد. در برخی ایستگاه‌ها، پرده نمایش فیلم مستقر شده بود و در یکی از ایستگاه‌ها نیز کتابخانه و قرائت‌خانه قرار داشت [۱۰].



شکل ۷. استقرار کتابخانه در برخی ایستگاه‌های مترو مسکو [۱۴]



شکل ۶. توزیع شیر میان کودکان در ایستگاه‌های مترو مسکو [۱۴]

طی جنگ سرد نیز به دلیل نیاز به پناهگاه‌های عمیق به منظور محفوظ ماندن در برابر حملات هسته‌ای و پیامدهای آن ایجاد سامانه عظیم مترو مسکو مورد توجه قرار گرفت. اصولاً یکی از دلایل اصلی توجه به توسعه مترو مسکو پس از جنگ جهانی دوم، جنگ سرد و تهدیدهای ناشی از آن بوده است. دیدگاه استفاده از ایستگاه‌های مترو به عنوان پناهگاه علاوه بر شهر مسکو در شهرهای لنینگراد و سنت‌پترزبورگ از آغاز طراحی و ساخت این سامانه مورد نظر بوده است. اما در میان شهرهای روسیه ایستگاه‌های مترو مسکو نمونه‌ای بارزتر از ایستگاه‌های با کاربری چندمنظوره محسوب می‌شوند. در مترو مسکو به منظور جلوگیری از مسدود شدن راه‌های خروجی، درهای فولادی دوار تعبیه شده است و جمعیتی حدود یک میلیون نفر قادر خواهند بود

در مواقع اضطراری از مترو یادشده به عنوان پناهگاه استفاده کنند. سطح سکوی ایستگاه‌های مترو مسکو با عرض بالا طراحی شده و درب‌های تعبیه‌شده در بین دیواره‌های میانی سکو هنگام بحران بسته می‌شود و فضایی امن را در سالن میانی سکوها ایجاد می‌کند. این فضای ایجادشده در سکوی جزیره‌ای ایستگاه، امکان استفاده به عنوان فضای پناهگاهی و یا فرماندهی را داد. در کنار طراحی مطلوب، عمق مناسب ایستگاه‌های مترو شهر مسکو نیز از مهم‌ترین ویژگی آن به منظور استفاده به عنوان پناهگاه محسوب می‌شود. همان‌طور که در نقشه خطوط مترو شهر مسکو نیز قابل مشاهده است، عمق برخی ایستگاه‌ها به ۸۴ متر نیز می‌رسد. نکته قابل تأمل دیگر در سامانه مترو مسکو نحوه طراحی خطوط آن است. خط ۵ مترو مسکو به صورت حلقه‌ای و به طول ۲۰ کیلومتر کلیه خطوط دیگر را به هم متصل می‌کند. این طراحی حلقوی سبب می‌شود در صورت رخداد تهدید در یکی از ایستگاه‌های خطوط طولی اتصال بین خطوط از طریق خط حلقوی ممکن شود و تعداد زیادی از ایستگاه‌ها از چرخه خدمت‌رسانی خارج نشوند [۹].

علاوه بر پناهگاه‌های جمعی، برخی ایستگاه‌های شهر مسکو به صورت خاص برای فرماندهی نظامی طراحی و تجهیز شدند. طی جنگ جهانی ایستگاه پرادی به عنوان مرکز فرماندهی سران عالی شوروی سابق و فرماندهان جنگ استفاده شد و از ایستگاه مایاکووسکایا برای پست فرماندهی پدافند هوایی شوروی استفاده شد. از دیگر کاربری‌های تعریف‌شده در مترو این شهر، موزه است. در ایستگاه‌های این مترو ۷۶ تندیس و مجسمه یادبود از سربازان، کارگران، کشاورزان و دریانوردان روسی نصب شده و با استفاده از سنگ‌های زیبای مرمری، چوب، مس، برنز، طاق نماهای هنرمندانه و نماهای شیشه‌ای الوان هندسی آن را زینت داده‌اند. اوج هنر و زیبایی مترو مسکو موجب شده که به موزه منحصر به فرد هنری تبدیل شود و آن را به قصرهای مردم نام‌گذاری کنند.



شکل ۸. آثار هنری داخل ایستگاه‌های شهر مسکو [۹]

ویژگی دیگر مترو شهر مسکو، وجود مسیرهای سری و اضطراری است که از خطوط و ایستگاه‌ها به کلیه اماکن مهم دولتی، نظامی و پناهگاه‌های مربوطه ارتباط دارد. با توجه به اسناد مربوطه، محل و مشخصات این اماکن سری نامشخص است. برای مثال، در خط ۲ سامانه قطار شهری مسکو، چهار مسیر اضطراری این سامانه به کاخ کرملین منتهی می‌شود. مسیرهای اضطراری یادشده دارای طبقه‌بندی هستند و برای بررسی قابل دسترسی نیستند، ولی با بررسی ایستگاه‌های پیرامون کاخ کرملین مشاهده می‌شود که در مجموع ۳ ایستگاه در فاصله ۵۰۰ متری و ۸ ایستگاه در فاصله یک کیلومتری این کاخ قرار دارند. در میان ایستگاه‌های یادشده، استفاده از ۳ ایستگاهی که به صورت دوه‌دو با یکدیگر ارتباط داشته و در فاصله ۵۰۰ متری غرب کاخ قرار دارند، برای دسترسی اضطراری محتمل‌تر به نظر می‌رسد. این سه ایستگاه به ترتیب ۴۷، ۴۱ و ۱۲ متر عمق دارند [۹].

از مثبت‌ترین ویژگی‌های مترو - پناهگاه‌های کشور روسیه توجه به مسائل روحی و زیبایی‌شناسی فضاها است که یکی از نیازهای اصلی پناهجویان در شرایط جنگی است، زیرا ماهیت ورود به فضای محبوس زیرزمینی در زمان بمباران، ایجاد ترس و اضطراب در میان پناهجویان می‌کند و استفاده هنرمندانه از نور و رنگ و تصاویر لطیف و فرجبخش با این احساسات منفی مقابله می‌کند.

۳-۲-۳. کشور اوکراین

در کشور اوکراین طی سالیان اخیر بیش از هر زمان دیگری نیاز به بهره‌گیری از پناهگاه‌های زیرزمینی احساس شده است، اما چالشی که با آن روبه‌رو بوده‌اند ظرفیت پایین ایستگاه‌های مترو برای پناه‌بخشی به مردم بوده است. لذا تصمیماتی برای بهره‌گیری از فضای داخلی تونل‌ها و ایجاد فضاهای پناهگاهی جدید در مجاورت تونل‌های موجود اتخاذ شده که هزینه‌های آن در قیاس با احداث پناهگاه در منطقه‌ای جدید به مراتب کمتر است [۱۵]. همچنین، فضاهای دیگری همچون طبقات زیرین ساختمان‌ها، پارکینگ‌ها، اتاق‌هایی فاقد پنجره در طبقات اول ساختمان‌ها که از اطراف محصور هستند و مکان‌های جدیدی که مستعد ساخت پناهگاه هستند، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند [۱۶].

از آنجا که بسیاری از ایستگاه‌های مترو در این کشور در دوران جنگ سرد ساخته شده‌بود، الزامات پایداری در برابر پیامدهای حملات اتمی در طراحی این ایستگاه‌ها دیده شده بود، به نحوی که عمق برخی ایستگاه‌های آن به ۱۰۵ متر می‌رسد. لذا به‌راحتی پس از آغاز جنگ روسیه و اوکراین، این ایستگاه‌ها به عنوان پناهگاه مورد استفاده قرار گرفتند. این ایستگاه‌ها در دوران جنگ به عنوان مدرسه برای دانش‌آموزان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ایستگاه‌های شهر کیف زیرساخت‌های حداقلی نظیر سرویس‌های بهداشتی و شیرهای آب آشامیدنی دارند. همچنین، به درب‌های ضد انفجار و هواپند هسته‌ای داشتند و دستگاه‌های ونتیلاتور و تصفیه هوا و آب درون ایستگاه‌ها مستقر بود. کارکنان مترو سال‌ها حداقل آموزش‌های لازم در زمینه پناه‌بخشی به مردم را در قالب طرح‌های دفاع مدنی دیده بودند و زمانی که جنگ شروع شد، آن‌ها آمادگی لازم را داشتند [۸].

اگر زیرساخت لازم در زمان مقرر برای مترو - پناهگاه تعبیه شده باشد، در هر مقطع زمانی که جنگی بر کشوری تحمیل شود، می‌تواند از این امکانات استفاده کند. همان‌گونه که در کشور اوکراین تسهیلات پناهگاهی دوران جنگ سرد در زمان جنگ اخیر با روسیه هم مورد استفاده قرار گرفت، اما به خلاف کشور روسیه که ایستگاه‌های مترو آن از منظر روانی و زیبایی‌شناسی محیطی مناسب برای اسکان پناهجویان بود، ایستگاه‌های مترو اوکراین فاقد چنین ویژگی‌ای است که در درازمدت ماندن پناهجویان را با مشکل مواجه می‌کند.



شکل ۹. تشکیل کلاس‌های درس در ایستگاه‌های چندمنظوره اوکراین [۱۷]



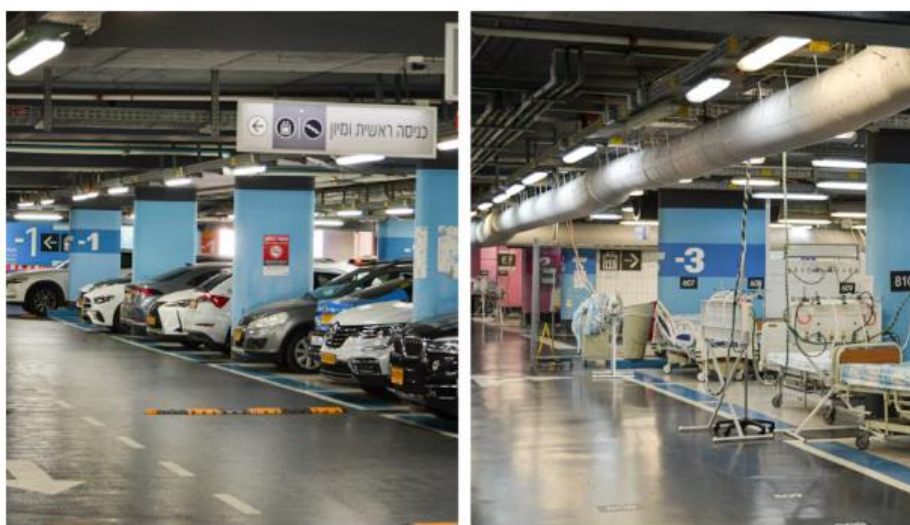
شکل ۱۰. تصویری از استقرار شهروندان اوکراینی در مترو [۱۸]

۳-۲-۴. رژیم صهیونیستی

رژیم صهیونیستی یکی از سرانه‌های بالای پناهگاهی را در سطح دنیا دارد؛ توضیح آنکه خوی سبانه و متجاوزانه این رژیم، مسئولان آن را بر آن داشته است که از ترس پاسخ‌های ارائه‌شده به حملات این رژیم، فضاهای چندمنظوره زیرزمینی برای مردم بسازد. لذا، علاوه بر پناهگاه‌های اختصاصی و عمومی در سطح شهرها، فضاهای درمانی زیرزمینی نیز در این رژیم ساخته و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. یکی از این فضاهای چندمنظوره، پارکینگ - بیمارستان رمبام است. این پارکینگ طبقاتی زیرزمینی که در مجاورت بیمارستان رمبام در شهر حیفا واقع شده است که در شرایط عادی، ظرفیت پناه‌بخشی به ۱۵۰۰ خودرو را دارد، اما طی کمتر از ۷۲ ساعت تبدیل به بزرگ‌ترین بیمارستان زیرزمینی جهان با ۲ هزار تخت می‌شود.

این بیمارستان در سال ۲۰۱۰ میلادی با هزینه ۷۰۰ میلیون دلار ساخته شد، اما ایده اولیه ساخت آن به سال ۲۰۰۶ و جنگ ۳۳ روزه با حزب‌الله لبنان باز می‌گردد. کارکنان بیمارستان به گونه‌ای آموزش دیده‌اند که طی مدت شش تا هفت ساعت بتوانند بیماران را از بیمارستان به فضای زیرزمینی منتقل کنند. کف هر قسمت از پارکینگ دو شماره قرار دارد که یکی متعلق به خودروهای پارک‌شده و دیگری، به تخت‌های بیمارستانی متعلق است تا فرایند تبدیل پارکینگ به بیمارستان در سریع‌ترین زمان ممکن اتفاق افتد.

این پارکینگ زیرزمینی چندمنظوره در دوران کرونا نیز تغییر کاربری داد و تبدیل به فضای درمانی شد [۸].



شکل ۱۱. پارکینگ چندمنظوره رمبام [۱۹]

۳-۲-۵. برخی دیگر از تجارب فضاهای پناهگاهی

۱- سرداب‌های منازل مسکونی

این سرداب‌ها در کشورهای واقع در خاک اروپا در زمان جنگ دوم جهانی کاربرد بیشتری نسبت به انگلستان داشتند، به‌ویژه در آلمان تقریباً از قدیم تمامی ساختمان‌ها و آپارتمان‌ها دارای سرداب بوده‌اند. به همین دلیل، ایجاد پناهگاه‌های حملات هوایی در آلمان توسط مقامات دولتی بسیار آسان‌تر و سریع‌تر از انگلستان ساماندهی می‌شدند. به این ترتیب که سرداب‌های موجود با اتخاذ تدابیر ساده‌ای به فضاهای پناهگاهی تبدیل می‌شدند. ملاحظاتی که از سوی متخصصان برای تبدیل این سرداب‌ها به پناهگاه مد نظر قرار می‌گرفت شامل موارد زیر می‌شد: اطمینان از اینکه سرداب‌ها گنجایش تمام ساکنان ساختمان را داشته باشند، تقویت پنجره‌ها و درهای سرداب‌ها برای مقابله با موج انفجار، وجود دسترسی ایمن و سریع به این سرداب‌ها هنگام حملات هوایی، اطمینان از سهولت و در دسترس بودن خروجی اضطراری و غیره [۳].

با اتخاذ این تدابیر، ساکنان اکثر ساختمان‌های شهرهای آلمان به‌جز موارد بمباران مستقیم از ایمنی مطلوبی برخوردار بودند، هر چند که این پناهگاه‌ها در برابر حملات هوایی آتش‌زا به‌خصوص در شهرهای بزرگ آلمان و در مناطق پرجمعیت بسیار آسیب‌پذیر نشان می‌دادند. نمونه‌های این آسیب‌پذیری در حملات هوایی به شهرهای هامبورگ در اواخر جنگ جهانی دوم مشهود است. در این حملات گسترده، تخریب بلوک‌های آپارتمانی به پراکنده شدن آتش‌سوزی و ایجاد جریان‌های شدید هوای داغ منجر شد. بادهای حاصل از ترکیب آتش و موج تخریب گاهی تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد گرما ایجاد می‌کرد و بسیاری از استفاده‌کنندگان از این پناهگاه‌ها که به دلیل واقع شدن در مناطق متراکم شهری بیش از ظرفیت مجاز خود مورد استفاده قرار می‌گرفتند، در این سرداب‌ها به دام افتادند و تعداد زیادی از آن‌ها به دلیل گرمای زیاد و یا مسمومیت با گاز منواکسید کربن از بین رفتند.

۲- زیرزمین‌های بلوک‌های ساختمانی

زیرزمین‌های بلوک‌های بزرگ ساختمانی مثل کارخانه‌ها، مدارس، بیمارستان‌ها، سوپرمارکت‌ها و ساختمان‌های اداری نیز در این دوره به عنوان فضاهای پناهگاهی تجهیز شده و استفاده می‌شدند. هر چند این پناهگاه‌ها به دلیل اینکه از ابتدا برای چنین کاربردی طراحی و ساخته نشده بودند، خطرهای جانبی را برای استفاده‌کنندگان ایجاد می‌کردند. مواردی نظیر دستگاه‌های سنگین صنعتی در کارخانه‌ها، منابع بزرگ آب در طبقات بالایی و ضعف‌های سازه‌ای نظیر ناکافی بودن تیرها و ستون‌های این گونه پناهگاه‌ها در چند مورد سبب تخریب این پناهگاه‌ها و بروز آسیب‌های گسترده جانی به استفاده‌کنندگان از این فضاها شدند. به طور نمونه، در بمباران مستقیم کارخانه‌ای در نورث شیلد بریتانیا، در سوم مه ۱۹۴۱ توسط نیروی هوایی آلمان، ۱۰۷ تن از استفاده‌کنندگان از زیرزمین کارخانه، به دلیل تخریب ناشی از ماشین‌آلات سنگین صنعتی جان خود را از دست دادند [۳].

۳- تونل‌های شهری

در پایتخت کشور اسکاتلند به خلاف شهر لندن در زمان جنگ جهانی دوم ایستگاه‌های متعدد مترو وجود نداشت. اما یک تونل مترو که شهری به طول ۸۰۰ متر وجود داشت که همین مکان تبدیل به پناهگاه در برابر حملات هوایی شد و توانست هزاران نفر را درون خود جای دهد. این فضا مساحتی معادل ۱۰ زمین فوتبال داشت و به کمک خود مردم و مسئولان شهری مقاوم‌سازی شد [۳].

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات گسترده انجام‌شده که بخشی از آن در مقاله حاضر مورد بررسی قرار گرفت، به نظر می‌رسد در شرایط فعلی شهر تهران، اقدامات عاجلی باید صورت پذیرد که بر اساس نظر نگارنده، فرایند سلسله‌مراتبی تبدیل ایستگاه‌های مترو شهر تهران به فضای پناهگاهی به صورت زیر است:

فرایند گام‌به‌گام و عملیاتی بهره‌گیری از ایستگاه‌های مترو موجود به عنوان پناهگاه شهری جنگ تحمیلی ۱۲ روزه آمریکا و رژیم صهیونیستی علیه جمهوری اسلامی ایران نشان داد دشمنان برای دستیابی به اهداف شومشان از هیچ خبثاتی فروگذار نمی‌کنند و مردم عادی را نیز به راحتی مورد هدف قرار می‌دهند. لذا باید برای در امان ماندن مردم چاره‌ای عملیاتی اندیشید تا در

موج‌های احتمالی حملات آتی تلفات مردمی به حداقل برسد. بر این اساس، مطابق و تجربیات بین‌المللی و ضوابط و دستورالعمل‌های موجود، ایستگاه‌های مترو یکی از گزینه‌های مناسب برای پناه‌بخشی مردم در شرایط اضطراری ناشی از موشکباران شهر است. به این منظور، فرایند گام‌به‌گام و عملیاتی زیر برای امکان بهره‌مندی از ایستگاه‌های مترو شهر تهران به عنوان پناهگاه چندمنظوره پیشنهاد می‌شود:

۱- اولویت‌بندی ایستگاه‌ها

توضیح آنکه با توجه به فوریت‌های پیش‌آمده شاید امکان تجهیز و آماده‌سازی کلیه ایستگاه‌های شهر تهران به حداقل نیازمندی‌های پناهگاهی در کوتاه‌مدت فراهم نباشد، لذا باید یک اولویت‌بندی میان ایستگاه‌ها صورت پذیرد. بر این اساس، ایستگاه‌هایی که در مجاورت مراکز کلیدی یا خطرناک نظیر اماکن نظامی، سیاسی، انبارهای مواد شیمیایی و غیره هستند باید شناسایی و در اولویت اقدامات پناه‌بخشی قرار گیرند.

۲- تشکیل گروه کارشناسی و بازدید اولیه

اولین مرحله از این گام، تشکیل گروهی خبره از کارشناسان پدافند غیرعامل و مترو است. پس از این مرحله، این گروه باید بعد از بازدید از ایستگاه‌های اولویت‌بندی‌شده به این دو سؤال پاسخ دهند: ۱- آیا ایستگاه قابلیت تبدیل شدن به پناهگاه را دارد و ۲- با چه امکاناتی به پناهگاه تبدیل می‌شود.

۳- ارائه طرح اولیه

در این گام، متناسب با شرایط هر ایستگاه گروه کارشناسی اولیه به کمک گروهی از طراحان نقشه اولیه جانمایی ایستگاه در شرایط پناهگاهی را ترسیم می‌کنند و موقعیت‌ها و کاربری‌های اساسی روی نقشه تعیین مکان می‌شوند. نحوه استقرار پناهجویان درون مترو، محل قرارگیری گروه‌های راهبری و انتظامی، سرویس‌های بهداشتی و غیره در این مرحله تعیین می‌شود.

۴- ظرفیت‌سنجی

در این مرحله بر اساس نقشه اولیه طراحی شده و همچنین، سرانه استاندارد استقرار افراد درون فضای پناهگاهی حداکثر ظرفیت هر ایستگاه مترو تعیین می‌شود. استقرار جمعیت بیش از ۵ درصد حداکثر ظرفیت تعیین شده مشکلاتی همچون ازدحام خطرآفرین جمعیت، دشواری تردد و غیره را فراهم می‌آورد. لذا به ساکنان اطراف دارایی‌های کلیدی باید از پیش پیامک داده شده و افراد براساس پیامک ارسالی به ایستگاه مورد نظر مراجعه کنند.

۵- تأمین نیازمندی‌ها

مطابق لیست نیازمندی‌های اعلامی از سوی گروه خبره کارشناسی امکانات اولیه حداقلی برای ایستگاه‌ها باید تهیه و نصب شود. سرویس‌های بهداشتی، مسیریابی جداگرای فضایی مانند پارتیشن‌ها و غیره متناسب با نظر گروه و نیازهای ایستگاه باید مورد استفاده قرار گیرند.

۶- آموزش مدیریت و کارکنان

گروه‌های هدایت و نظم‌بخشی به پناهگاه متشکل از مدیر پناهگاه می‌تواند رئیس ایستگاه یا فرد دیگری باشد و کارکنان مترو به همراه نیروهای کمکی یا داوطلب باید آموزش‌های اولیه پناه‌بخشی به مردم در ایستگاه را دیده و بهترین شکل تقسیم وظایف در میان آن‌ها صورت پذیرد. به علاوه، امکانات هدایت و راهبری مردم نظیر بلندگوی دستی بی‌سیم، مسیربندهای متحرک و غیره در صورت نبود در ایستگاه باید تهیه شود و در اختیار این گروه قرار گیرد.

۷- برگزاری رزمایش

بر این اساس، گام آخر، تمرین مکرر موارد آموزش داده‌شده و یافتن خلأهای عملیاتی و پر کردن آن‌ها است. به این منظور، پس از برگزاری رزمایش گروهی به شکل تخصصی به عنوان ناظر بر عملیات با نقاط نقص و قابل بهبود در فرایند پناه‌بخشی را شناسایی کرده و الزامات عملیاتی برای برطرف کردن آن‌ها را به مدیریت پناهگاه اعلام کنند.

منابع

1. National Building Regulations Office, 21th chapter of national building regulations (Passive Defense). Tehran; 2016.[Persian]
2. Asgharian Jeddi A. Shahab A. Localization of collective and family shelter standards in Iran. Tehran: Shahid Beheshti university; 2015. [Persian]
3. Hashemi Fesharaki SJ. Gharabaghi M. Basics of designing and building safe shelter spaces. Tehran: Nokhbesazan; 2011. [Persian]
4. Ebrahimi V. Underground Space Design. Mashhad: Marandiz Publication; 2009. [Persian]
5. Dong Y. Peng F. Qiao Y. An intelligent layout planning model for underground space surrounding metro stations based on NSGA-II. Tunnelling and Underground Space Technology; 2022
6. Admiraal H. Cornaro A. Future cities, resilient cities – The role of underground space in achieving urban resilience. Underground space; 2020
7. Asgharian Jeddi A. Mir Hashemi SA. Defense lessons from Tehran missile strikes documentation.. Tehran: Shahid Beheshti university; 2015. [Persian]
8. Pirhadi H. Studying city wars and missile attacks in Holy Defense and presenting strategies for future war. Tehran. Defense strategies journal; 2014. [Persian]
9. Jalali Farahani Gh. Ghazanfari M. Shamsae F. Passive Defense Criteria in the Design of Underground Metro Stations. Tehran: Malek Ashtar university of Technology; 2017. [Persian]
10. Araghizadeh M. Conference to review international experiences in the multipurpose use of urban underground spaces with the approach of improving city security. Tehran: Tehran Municipality Higher Education Institute of Applied Science and Technology; 2025. [Persian]
11. Web Site: www.ltmuseum.co.uk/collections/stories/war/shelter-wartime, visited at 2025
12. Farahat M. The Use of Underground Metro Stations and Tunnels as Protective Structures in Case of Nuclear Emergencies. Journal of Environmental Science and Engineering; 2016.
13. Araghizadeh M. Khoddami S. Urban Shelters Documentry Film. Tehran: Imen Gostaran Mohit Engineering Consult; 2013. [Persian]
14. Web Site: www.rbth.com/history/331256-moscow-metro-wwii-history, visited at 2025.
15. Bulat A.F., Krukovskyi O.P., Kurnosov S.A., Makeiev S.Yu. COMMUNICATION AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS REGARDING THE CONSTRUCTION OF SHELTER OBJECTS AT UNDERGROUND RAILWAY STATIONS IN FRACTURED AND WATER-LOGGED ROCKS, Kiev. National Academy of Sciences of Ukraine; 2023
16. Pomortseva O. Kobzan S, Geospatial modeling of the location of bomb shelters in residential areas of the city. National University of Urban Economy in Kharkiv; 2023.
18. Web Site: www.haystack.tv/v/won-hear-ukrainian-children-forced-underground-safety, visited at 2025
19. Web Site: www.newyorker.com/magazine/2022/03/14/inside-kyivs-metro-a-citywide-bomb-shelter, visited at 2025
20. Web Site: www.abc.net.au/news/2024-08-16/haifa-car-park-underground-hospital-israel-north-war, visited at 2025



Investigating of Policies of the Use of Tehran Metro Stations Capacity as Emergency Shelters with a Crowd Management Approach

Solmaz Arzhangi^{1*} | Masoud Naddafan²

1. Corresponding Author, Ph.D, Department of landscape architecture and reconstruction, faculty of architecture and urban planning, Shahid Beheshti University (SBU), Tehran, Iran. Email: s_arzhanghi@sbu.ac.ir

2. Head of Tehran Municipality Institute of Applied Science and University Lecturer, Tehran, Iran. Email: M.naddaffan@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:

Received 05 April 2025

Revised 05 May 2025

Accepted 01 July 2025

Published Online 11 September 2025

Keywords:

Tehran Metro,
Crowd Management,
Emergency Shelter,
DIM-ICE,
Safety.

ABSTRACT

Due to its underground location and robust structure, the metro has a high capacity to become a safe shelter in critical situations such as military attacks or natural disasters. However, the effective exploitation of this potential has faced several challenges, including difficulties in managing crowding, lack of health facilities, and safety restrictions. On the other hand, the metro, as one of the main pillars of the public transportation system in a metropolis like Tehran, plays a vital role in reducing traffic congestion and facilitating the movement of citizens. However, this same important function can become a threatening factor in times of crisis and with an unexpected increase in the number of individuals; because severe congestion in stations not only jeopardizes the safety of these spaces, but also significantly increases the likelihood of unfortunate accidents due to crowding. Focusing on the feasibility of using Tehran metro stations as emergency shelters with a crowd management approach, this research seeks to assess existing capacities and provide practical solutions to optimize metro performance in crisis situations. The main research questions include examining the structural and operational readiness of stations, identifying crowd management challenges, and providing solutions to improve safety and efficiency. The innovation of the research lies in combining passive defense analysis with intelligent crowd management and applying the DIM-ICE analytical method to assess crowding challenges. The findings of this study can help urban policymakers in planning to improve metro safety and reduce the risks of crowding in crisis situations.

Cite this article: Arzhanghi, S. & Naddafan, M. (2026). Investigating of Policies of the Use of Tehran Metro Stations Capacity as Emergency Shelters with a Crowd Management Approach. *Urban Development Policy Making*, 2 (4), 491-509. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.535569.1055>



© Solmaz Arzhanghi, Masoud Naddafan

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.535569.1055>

Introduction

As a public transport infrastructure with its own characteristics, the metro has a high potential to become a safe haven in crisis situations. These characteristics make the metro a suitable option for citizens to take refuge in emergencies, especially when other places are at serious risk. However, challenges such as crowd management and provision of health and safety facilities can become serious problems in crisis situations.

Methodology

This research uses qualitative analytical methods and field observations to investigate the structural and operational readiness of metro stations in Tehran. It also uses the DIM-ICE method to identify and

assess the challenges caused by crowd congestion. By analyzing the collected data, solutions for crowd management and improving safety and efficiency are presented.

Results

The results of this study show that metro stations are structurally and operationally challenging to use as emergency shelters, and there is a need for improvements in crowd management and safety resourcing. Also, smart solutions are proposed to optimize metro performance in crisis situations as emergency shelters.

Conclusion

This research identifies the weaknesses and challenges of metro systems specifically in Tehran and provides solutions to improve their performance in crisis situations as emergency shelters. The results of this study can help plan for increasing metro safety and provide models for other metropolises seeking to improve their infrastructure in the face of crises.



بررسی سیاست‌های استفاده از ظرفیت ایستگاه‌های متروی تهران به عنوان پناهگاه با رویکرد مدیریت ازدحام جمعیت

سولماز ارژنگی^{۱*} | مسعود ندافان^۲

۱. نویسنده مسئول، دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، گروه معماری منظر و بازسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: s_arzhangi@sbu.ac.ir

۲. سرپرست مؤسسه آموزش عالی علمی - کاربردی شهرداری تهران و مدرس دانشگاه، تهران، ایران. رایانامه: M.naddaffan@gmail.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰

کلیدواژه:

متروی تهران،

مدیریت ازدحام جمعیت،

پناهگاه اضطراری،

DIM-ICE

ایمنی.

مترو به دلیل موقعیت زیرزمینی و ساختار مقاوم خود، از ظرفیت بالایی برای تبدیل شدن به پناهگاهی امن در شرایط بحرانی نظیر حملات نظامی یا سوانح طبیعی برخوردار است. با این حال، بهره‌برداری مؤثر از این پتانسیل با چالش‌های متعددی از جمله دشواری‌های مدیریت ازدحام جمعیت، کمبود امکانات بهداشتی و محدودیت‌های ایمنی روبه‌رو بوده است. از سوی دیگر، مترو به عنوان یکی از ارکان اصلی سیستم حمل‌ونقل عمومی در کلان‌شهری مانند تهران، نقش حیاتی در کاهش تراکم ترافیک و تسهیل جابه‌جایی شهروندان ایفا می‌کند. اما همین کارکرد مهم در مواقع بحرانی و با افزایش غیرمنتظره تعداد مسافران، می‌تواند به عاملی تهدیدکننده تبدیل شود؛ چرا که ازدحام شدید در ایستگاه‌ها نه تنها ایمنی این فضاها را به خطر می‌اندازد، بلکه احتمال بروز سوانح ناگوار ناشی از تراکم جمعیت را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. این پژوهش با تمرکز بر امکان‌سنجی استفاده از ایستگاه‌های متروی تهران به عنوان پناهگاه اضطراری با رویکرد مدیریت ازدحام جمعیت، به دنبال ارزیابی ظرفیت‌های موجود و ارائه راهکارهای عملی برای بهینه‌سازی عملکرد مترو در شرایط بحران است. پرسش‌های اصلی پژوهش شامل بررسی میزان آمادگی ایستگاه‌ها از نظر ساختاری و عملیاتی، شناسایی چالش‌های مدیریت ازدحام، و ارائه راهکارهای بهبود ایمنی و کارایی می‌شود. نوآوری پژوهش در ترکیب تحلیل پدافند غیرعامل با مدیریت هوشمند ازدحام و به‌کارگیری روش تحلیلی DIM-ICE برای ارزیابی چالش‌های تراکم جمعیتی است. یافته‌های این مطالعه می‌تواند به سیاست‌گذاران شهری در برنامه‌ریزی برای ارتقای ایمنی مترو و کاهش مخاطرات ناشی از ازدحام در شرایط بحرانی کمک کند.

استناد: ارژنگی، سولماز و ندافان، مسعود (۱۴۰۴). بررسی سیاست‌های استفاده از ظرفیت ایستگاه‌های متروی تهران به عنوان پناهگاه با رویکرد مدیریت ازدحام جمعیت. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۲(۴) ۴۹۱-۵۰۹.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.535569.1055>

© سولماز ارژنگی، مسعود ندافان

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.535569.1055>



۱. مقدمه

مترو یکی از زیرساخت‌های مهم شهری است که به واسطه تسریع و تسهیل حمل‌ونقل، نقشی حیاتی و بنیادی را در شهرها ایفا می‌کند. تحقیقات اخیر بر اهمیت زیرساخت‌های زیرزمینی شهری برای حفاظت از غیرنظامیان طی درگیری‌ها تأکید می‌کند. ایستگاه‌های مترو ثابت کرده‌اند که پناهگاه‌های قابل اعتمادی هستند و شرایط بهتری نسبت به پناهگاه‌های سنتی بمب ارائه می‌دهند [۱]، اما تصمیم‌گیری‌ها همواره نمی‌توانند به موفقیت منجر شوند. از قدیمی‌ترین ایستگاه‌هایی که تصمیم گرفته شد به عنوان پناهگاه از آن استفاده شود، ایستگاه متروی ورشو لهستان است. سیستم متروی ورشو طی جنگ سرد با هدف دوگانه طراحی شد: حمل‌ونقل عمومی و پناهگاه جنگی. در مرحله اول، مترو نمادی از مدرنیته لهستان تازه‌استقلال یافته بود، اما در مرحله دوم، با پارانویای جنگ سرد، تونل‌های عمیق برای استفاده به عنوان پناهگاه هسته‌ای طراحی شدند. محدودیت‌های زمین‌شناسی پیشرفت را متوقف کرد و سلطه سیاسی، مانند کاخ فرهنگ و علم استالین، بر پروژه تأثیر گذاشت. پس از سرکوب جنبش همبستگی و با حمایت برژنف، پروژه در دهه ۱۹۸۰ احیا شد، اما خط اول مترو پس از کمونیسم و با کمک مالی اتحادیه اروپا افتتاح شد. این خطوط کم‌عمق، به خلاف طرح اولیه، عملکرد پناهگاه نداشتند. متروی ورشو روایتی از جاه‌طلبی‌های متوقف‌شده، تحت تأثیر استراتژی‌های نظامی و ژئوپلیتیک، و نمادی از آرمان‌های مدرنیته و ملی‌گرایی لهستان است [۲]. از دیگر سو، اقامت طولانی‌مدت در این فضاها می‌تواند چالش‌برانگیز باشد و نیاز به بهبود امکانات را افزایش می‌دهد [۱ و ۳]. یکی از نقدهای مهمی که بر این رویکرد گرفته می‌شود، این است که هرچند ایستگاه‌های مترو و مراکز خرید زیرزمینی می‌توانند به عنوان پناهگاه‌های غیرنظامیان جنگی مورد استفاده قرار گیرند، اما استفاده طولانی‌مدت از آن‌ها مستلزم رسیدگی به مسائل بهداشتی و سایر موارد است [۴]. با وجود آنکه ایستگاه‌های مترو ممکن است از نظر مقاومت سازه‌ای و عمق مورد نیاز برای مقابله با حملات موشکی و جنگی به‌خوبی مناسب‌سازی شده باشند، یکی از موضوعات مهمی که هنگام استفاده از این فضاها به عنوان محل پناهگیری باید مورد توجه قرار گیرد، مدیریت ازدحام جمعیت است. بی‌توجهی به این مقوله، به‌ویژه در بافت‌های متراکم شهری، می‌تواند خطر بروز آسیب به افراد در فرایند پناهگیری را افزایش دهد و حتی تمام اقدامات انجام‌شده برای تبدیل ایستگاه‌های مترو به پناهگاه را بی‌اثر کند.

سیستم حمل‌ونقل عمومی در کلان‌شهرهایی مانند تهران، به دلیل جمعیت بالای آن، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. در تهران، مترو به عنوان یک راه‌حل مؤثر برای کاهش ترافیک و تسهیل دسترسی به دورترین نقاط شهر، همواره مورد استقبال شهروندان قرار می‌گیرد. به طوری که در بیشتر ساعت‌های روز، به‌ویژه در ساعت‌های اوج تردد، ایستگاه‌های مترو با ازدحام شدید و تراکم جمعیتی بالایی مواجه می‌شوند. این موضوع نشان‌دهنده اهمیت مترو به عنوان یکی از ارکان اصلی حمل‌ونقل عمومی در تهران است. با این حال، بررسی روزهای ویژه سال، به‌ویژه روزهایی که تقاضای حمل‌ونقل عمومی به طور غیرمعمولی افزایش می‌یابد، بیانگر این نکته است که ازدحام بسیار زیاد، سطح ایمنی در ایستگاه‌های مترو را به شدت کاهش می‌دهد. در این شرایط، ریسک بروز سوانح ناشی از ازدحام جمعیت افزایش می‌یابد و می‌تواند به حوادث ناگوار منجر شود. به عنوان مثال، در مواقعی که تعداد مسافران به طرز غیرمنتظره‌ای افزایش می‌یابد، عدم توانایی در مدیریت جمعیت می‌تواند مشکلاتی مانند فشار جسمی بر افراد، اضطراب و حتی آسیب‌های فیزیکی را به همراه داشته باشد.

از دیگر سو، در شرایط بحرانی مانند جنگ، حملات موشکی یا سوانح طبیعی، نیاز به پناهگاه‌های امن و قابل دسترس برای حفاظت از جان شهروندان بیش از پیش اهمیت می‌یابد. شهر تهران، به عنوان پایتخت ایران و یکی از کلان‌شهرهای پرجمعیت خاورمیانه، با چالش‌های متعددی در زمینه مدیریت بحران مواجه است. متروی تهران، با شبکه گسترده‌ای شامل ۷ خط فعال و ۱۶۰ ایستگاه، روزانه بیش از ۲/۵ میلیون نفر را جابه‌جا می‌کند و به دلیل موقعیت زیرزمینی و ساختار نسبتاً مقاوم خود، پتانسیل بالایی برای استفاده به عنوان پناهگاه در شرایط اضطراری برخوردار است. با این حال، در کنار مسئله مقاومت سازه‌ای که باید به طور کارشناسی مورد بررسی قرار بگیرد، استفاده از ایستگاه‌های مترو به عنوان پناهگاه با چالش‌هایی نظیر مدیریت ازدحام جمعیت، کمبود امکانات بهداشتی و محدودیت‌های ایمنی همراه است. این پژوهش با تمرکز بر امکان‌سنجی استفاده از ایستگاه‌های متروی تهران به عنوان پناهگاه در شرایط بحرانی و با رویکرد مدیریت ازدحام جمعیت، به دنبال ارائه راهکارهایی برای مناسب‌سازی این زیرساخت‌ها در راستای پدافند غیرعامل و مدیریت بحران است و با هدف بررسی وضعیت ایستگاه‌های

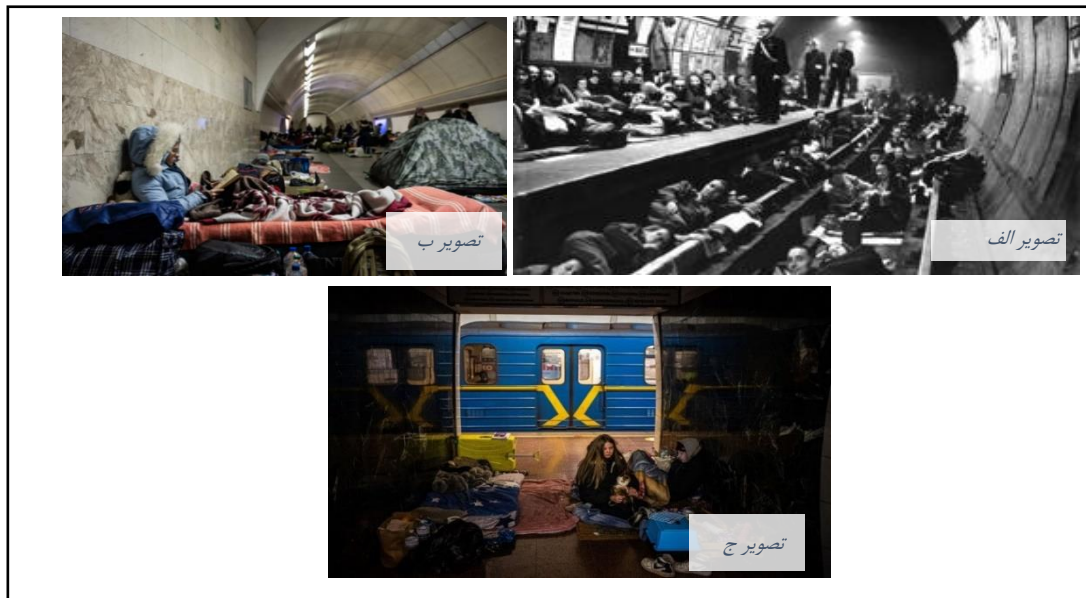
مترو تهران از منظر مدیریت ازدحام جمعیت در شرایط پناهگیری انجام شده است. بنابراین، هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی ظرفیت‌های ایستگاه‌های مترو تهران برای استفاده به عنوان پناهگاه در شرایط بحرانی و ارائه راهکارهای عملی برای کاهش خطرات ناشی از ازدحام جمعیت هنگام پناهگیری است. در راستای هدف تبیین شده، پرسش‌های زیر تعریف می‌شود:

- ایستگاه‌های متروی تهران تا چه حد از نظر ساختاری و عملیاتی برای استفاده به عنوان پناهگاه در شرایط بحرانی مناسب هستند؟
- چه چالش‌هایی در مدیریت ازدحام جمعیت در ایستگاه‌های مترو به عنوان پناهگاه وجود دارد؟
- چه راهکارهایی برای بهبود ایمنی و کارایی ایستگاه‌های مترو به عنوان پناهگاه می‌توان ارائه داد؟

این مطالعه به دنبال شناسایی قوت‌ها و ضعف‌های زیرساختی و مدیریتی مترو و ارائه پیشنهادهایی برای بهبود عملکرد آن در شرایط اضطراری است. نوآوری این پژوهش در رویکرد یکپارچه آن به بررسی امکان‌سنجی استفاده از مترو به عنوان پناهگاه با تأکید ویژه بر مدیریت ازدحام جمعیت است. به خلاف مطالعات پیشین که عمدتاً بر جنبه‌های سازه‌ای یا پدافند غیرعامل تمرکز داشتند، این پژوهش با بهره‌گیری از شناخت ویژگی‌های ازدحام و تحلیل داده‌های میدانی، به بررسی ایستگاه‌های مترو در شرایط اضطراری می‌پردازد. همچنین، استفاده از روش DIM-ICE که روشی تحلیلی در بررسی چالش‌های ازدحام در فضاهای جمعیتی در ارائه راهکارهای عملی است، این مطالعه را از سایر پژوهش‌های مشابه متمایز می‌کند. این پژوهش می‌تواند به سیاست‌گذاران و مدیران شهری کمک کند تا با برنامه‌ریزی مناسب، زیرساخت‌های موجود را برای حفاظت از شهروندان در شرایط بحرانی در حالی که خطرات ناشی از ازدحام جمعیت را به حداقل برسانند، مناسب‌سازی کنند.

۲. پیشینه تحقیق

استفاده از ایستگاه‌های مترو به عنوان پناهگاه در زمان جنگ در زمینه‌های مختلفی از جمله مورد بررسی قرار گرفته است. در ورشو^۱، برنامه‌هایی برای تونل‌های عمیق مترو که می‌توانستند به عنوان پناهگاه‌های هسته‌ای عمل کنند، در دوران جنگ سرد توسعه یافتند [۵]. همچنین لندن‌ها طی جنگ جهانی دوم از ایستگاه‌های متروی شهر برای پناه گرفتن در برابر حملات هوایی آلمان استفاده می‌کردند [۶]. در کیف، اوکراین^۲، ایستگاه‌های مترو که برخی از آن‌ها در دوران شوروی با هدف استفاده دوگانه ساخته شده بودند طی حملات موشکی روسیه به پناهگاه‌های حیاتی برای غیرنظامیان تبدیل شدند [۷].



شکل ۱. استفاده از ایستگاه‌های مترو به عنوان پناهگاه در زمان جنگ

منبع تصویر ب و ج [۱۴]؛ منبع تصویر الف [۱۵]

به طور کلی، تجربه‌های اخیر در اوکراین نیز نشان داد ایستگاه‌های مترو طی دوره‌های طولانی درگیری، یکی از گزینه‌های مطمئن تأمین‌کننده حفاظت مردم بودند، هرچند که امکانات مناسب برای ماندن طولانی‌مدت را نداشتند [۴]. برای حل این مشکل، پژوهشگران طراحی‌هایی برای پناهگاه‌های زیرزمینی متصل به ایستگاه‌های مترو پیشنهاد کرده‌اند که شامل مناطق خواب، مراکز پزشکی و خدمات ضروری است [۸]. در استراتژی‌های ارائه‌شده پیشنهاد شد که مکان‌های پناهگاه در نزدیکی سکوها‌های سوار شدن ایستگاه‌های مترو قرار داده شوند که آن‌ها را با گذرگاه‌ها، وسایل رفت و آمد به طبقات پایین و بالا و یک شبکه حمل‌ونقل متصل می‌کند و مناطقی برای اقامت طولانی‌مدت مردم، مناطق خواب و غذاخوری، حمام، پزشکی، خرید و دیگر بلوک‌های ضروری فراهم می‌کند [۹]. مناطق خواب باید به صورت جداگانه و در چندین طبقه در طول دیوارهای پناهگاه ساخته شوند.

این چیدمان مبلمان زیرزمینی امکان ایجاد یک مجموعه یکپارچه (اشیای پناهگاه و ایستگاه مترو) را فراهم می‌آورد، هزینه کلی ساخت پناهگاه را کاهش می‌دهد، سرعت تخلیه افراد را در صورت وقوع سوانح طبیعی، انسان‌ساخت یا حملات هوایی افزایش می‌دهد و اقامت طولانی‌مدت راحت برای افراد را تضمین می‌کند [۸]. از طرفی، پژوهش‌ها در مورد ظرفیت پناهگاه شهری و دسترسی به آن، اهمیت توجه به توزیع جمعیت پویا را هنگام برنامه‌ریزی پناهگاه‌های اضطراری تأکید می‌کند. در پناهگاه باید شبکه‌های ایستگاه راه‌آهن زیرزمینی به تأمین برق، آب و فاضلاب، تهویه و سرمایه‌ش متصل باشد و همچنین، باید به گونه‌ای طراحی شوند که برای چند ساعت یا چند روز کافی باشند [۱۰].

هرچند کاربرد متروها به عنوان پناهگاه‌های شهری بارها طی جنگ از زوایای مختلف مورد بررسی قرار گرفته، اما کمتر این موضوع از منظر خطر ازدحام جمعیت و ایمن بودن جمعیت هنگام پناهگیری در ایستگاه‌های مترو به‌ویژه هنگام ورود و خروج مورد بررسی قرار گرفته است. ازدحام جمعیت به صورت ذاتی بگرنج و پیچیده هستند و با فرار دسته‌جمعی، ترس، وحشت، اضطراب و قرار داشتن در وضعیت استرس‌زا همراه هستند. شروع سانحه ازدحام جمعیت معمولاً با وارد آمدن فشار، زیر دست و پا افتادن و لهیدگی افراد همراه است. در مجموع، برخی عوامل رفتاری مانند هجوم، فرار، ترس می‌تواند به بروز سانحه ازدحام جمعیت منجر بشوند یا شرایط به‌وجودآمده را تشدید کند [۱۱].

ازدحام جمعیت در ایستگاه‌های مترو به عنوان پناهگاه در شرایط اضطراری ناشی از جنگ یا تهدیدهای مشابه، می‌تواند پیامدهای جدی و خطرناک به همراه داشته باشد. هنگامی که افراد پس از درک خطر وارد مرحله عمل می‌شوند و ساکنان یک منطقه به سمت ایستگاه‌های مترو می‌دوند که در آن‌ها پناه بگیرند، پدیده پاسار^۱ و ازدحام جمعیت بسیار محتمل است. جمعیت در حالت وحشت‌زده و در حالی که تهدیدهای جنگ ادامه دارد، خواستار ورود سریع به پناهگاه هستند. در چنین شرایطی که وحشت جمعی بر ساکنان سایه افکنده، هدایت هدمند افراد به‌ویژه از ورودی‌ها و به سمت لایه‌های زیرین ایستگاه‌های مترو با در نظر گرفتن اقدامات کاهنده ریسک ازدحام جمعیت امری دشوار است. هرچقدر ایستگاه‌های مترو در مناطق شلوغ‌تر شهر واقع شده باشند، ریسک سوانح ناشی از ازدحام جمعیت افزایش می‌یابد، زیرا افزایش تراکم بخشی مهم از فرایند بروز این دست از سوانح است. از این‌رو، نخستین چالش در شرایط بحرانی مانند جنگ، وجود جمعیت زیاد شهری در محدوده خدماتی ایستگاه‌های مترو و تخلیه سریع این جمعیت به مکان‌های امن است. این موضوع به‌ویژه در مواقع اضطراری که نیاز به خروج فوری از محل تحت خطر است، می‌تواند به خطرات جانی منجر شود. از این‌رو، در مرحله نخست هجوم جمعیت به سمت ایستگاه‌های مترو و ازدحام در ورودی‌ها وقتی هشدار حمله یا خطر اعلام می‌شود و مردم به صورت خودجوش به سمت ایستگاه‌های مترو هجوم می‌آورند خطرناک‌ترین لحظه از نظر ایجاد ازدحام کشنده است. در چنین شرایطی، عوامل تشدیدکننده‌ای نظیر قفل بودن درب‌های ورودی و ظرفیت کم ورودی‌ها سبب می‌شود جمعیت در بیرون ایستگاه‌های مترو تجمع می‌کنند و در معرض خطر مستقیم (مثلاً حملات موشکی و بمباران) قرار می‌گیرند. در ضمن اینکه به دلیل فشارهای تهدید احتمال بروز رفتارها و رفتارهای خشن در خارج از ایستگاه افزایش یافته که این خود یکی از عوامل مهم تحریک‌کننده در شروع یک سانحه ناشی از ازدحام است. رفتارهای غیرمنطقی مانند زمانی که برخی افراد برای ورود سریع‌تر ممکن است دیگران را هل دهند می‌تواند به سقوط دسته‌جمعی و آسیب‌های دومینویی منجر شوند.

مرحله دوم، حرکت در راهروها و پله‌ها به سمت نقاط امن است. بعد از ورود به مترو، مردم باید از راهروها، پله‌ها و احتمالاً تونل‌های باریک عبور کنند تا به مناطق امن زیرزمینی برسند. در این مرحله هم ازدحام می‌تواند به فاجعه منجر شود. گرفتار شدن در راهروهای باریک به‌ویژه اگر جمعیت در یک مسیر باریک تجمع کند، ممکن است حرکت را کاملاً متوقف کند و افراد بر اثر فشار آسیب ببینند. در صورت ازدحام، عده‌ای ممکن است تعادل خود را از دست بدهند و از ارتفاع سقوط کنند. اگر مسیر اصلی مسدود شود، ممکن است مردم نتوانند به مناطق امن برسند یا در صورت نیاز خارج شوند.

مرحله سوم، تجمع در سالن‌ها و سکوها (فضای اصلی پناهگاه) است. وقتی مردم به نقاط اصلی پناهگاه می‌رسند، ممکن است به دلیل تراکم بالا، سالن‌ها و سکوها بیش از حد پر شوند. کمبود اکسیژن در فضای بسته اگر سیستم تهویه کار نکند، ممکن است سطح اکسیژن در محل را کاهش دهد و به بروز مشکلاتی برای جمعیت منجر شود. در صورت قطع برق و عدم تهویه، دما به سرعت افزایش می‌یابد و گرم‌زدگی و استرس گرمایی احتمال بروز رفتارهای غیرعقلایی را افزایش می‌دهد. همچنین عدم دسترسی به سرویس‌های بهداشتی در صورت طولانی شدن پناهگیری خود به مقوله‌ای چالش‌برانگیز بدل می‌شود. در چنین حالتی و زمانی که مردم در پناهگاه حضور دارند، صدای بلند یا شایعه ممکن است باعث وحشت جمعی، هرج‌ومرج و دویدن بی‌هدف مردم و بروز سانحه ناشی از ازدحام جمعیت شود.

مرحله چهارم این فرایند تلاش برای خروج پس از اتمام تهدید است. وقتی وضعیت به حالت عادی بازمی‌گردد، مردم به سمت خروجی‌ها هجوم می‌آورند که خطرات جدیدی ایجاد می‌کند. ممکن است مانند ورودی‌ها، ازدحام در خروجی‌ها و فشار جمعیتی ایجاد شود. همچنین، در صورت آسیب دیدن ساختمان مترو، خروج ممکن است با موانع فیزیکی روبه‌رو شود. برخی نیز ممکن است برای خروج سریع‌تر یا دسترسی به کمک‌های اولیه با هم درگیر شوند و جمعیت را با چالش مواجه سازند. بنابراین، ازدحام در ایستگاه‌های مترو در فرایند پناهگیری در چهار مرحله اصلی خطرآفرین است:

- هجوم به ورودی‌ها
- حرکت در راهروها و پله‌ها و سیرکولاسیون فضای داخلی
- تجمع در سالن‌های مترو
- خروج پس از اتمام خطر

۳. روش‌شناسی

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت، توصیفی تحلیلی با رویکرد کیفی است. در مرحله اول، مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای انجام شد و منابع علمی داخلی و بین‌المللی، اسناد بالادستی مرتبط با پدافند غیرعامل، آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مدیریت ازدحام جمعیت، و تجربه‌های جهانی استفاده از زیرساخت‌های حمل‌ونقل زیرزمینی به عنوان پناهگاه مورد بررسی قرار گرفت. هدف این مرحله، شناسایی شاخص‌ها و معیارهای ارزیابی ظرفیت ایستگاه‌های مترو از منظر ساختاری، ایمنی، و مدیریتی بود. سپس، تعدادی از ایستگاه‌های متروی تهران بر اساس معیارهایی نظیر حجم تردد روزانه، موقعیت مکانی در شبکه، عمق و ساختار کالبدی، و سطح برخورداری از امکانات ایمنی و بهداشتی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. در مرحله بعد برای شناسایی و اولویت‌بندی چالش‌های ازدحام جمعیت در شرایط پناهگیری، از روش تحلیلی DIM-ICE استفاده شد. این روش، با بررسی سه بُعد کلیدی مدیریت جمعیت (طراحی، اطلاعات، مدیریت)، چارچوبی جامع برای تحلیل عوامل مؤثر در بروز ازدحام در ورودی‌ها، فضای گردش و خروجی‌ها ایجاد و راهکارهای عملی برای مسائل شناسایی شده، فراهم می‌کند. در پایان بر اساس تحلیل‌های انجام‌شده، راهبردهای کاهش خطر سوانح ناشی از ازدحام جمعیت هنگام پناهگیری افراد در شرایط بحران در ایستگاه‌های مترو تدوین شد.

۳-۱. مدل ارزیابی ریسک DIM-ICE

مدل ریسک DIM-ICE^۱ چارچوبی است که به منظور ارزیابی و مدیریت ایمنی جمعیت در رویدادها استفاده می‌شود و نخستین بار توسط دکتر کیت استیل برای مدیریت رویدادهای جمعیتی استفاده شد [۱۲]. این مدل با هدف رفع پیچیدگی‌های

1. DIM – ICE : Design, Information, Management – Ingress, Circulation, Egress

موجود در شبیه‌سازی و تسهیل فرایند تحلیل ازدحام جمعیت توسعه‌یافته است و بر سه حوزه کلیدی تمرکز دارد: طراحی، اطلاعات و مدیریت، در سه مرحله از یک رویداد: ورود، گردش و خروج. این مدل قادر است خطرات بالقوه سوانح ازدحام جمعیت را شناسایی کرده و استراتژی‌هایی برای کاهش آن‌ها تدوین و محیطی امن‌تر برای شرکت‌کنندگان ایجاد کند. با استفاده از فرامدل DIM-ICE، بررسی‌ها در شرایط عادی و اضطراری به صورت کیفی تکمیل می‌شوند و بسته به اهمیت مسئله تدابیری برای حل آن اندیشیده می‌شود. به بیان دیگر، این مدل تکنیکی تحلیلی برای پاسخ‌های تاکتیکی و استراتژیک به مسائل مربوط به جمعیت است.

در این روش، اطلاعات در قالب جدول 3×3 دسته‌بندی می‌شوند. گزاره‌های مرتبط با هزینه، ریسک، نرخ جریان و غیره را می‌توان به هر خانه جدول اختصاص داد و این می‌تواند بینش مفیدی در مورد استفاده و استقرار بهتر منابع ارائه دهد. این رویکرد نه تنها توجه را بر عناصر کلیدی خطرات مرتبط با زمان متمرکز می‌کند، بلکه آنچه را که اکثر برنامه‌های مدیریت جمعیت از پرداختن به آن غافل می‌شوند را نیز مورد تأیید قرار می‌دهد. اینکه حوادث می‌توانند طی ورود، میانه رویداد و هنگام خروج رخ دهند. معمولاً، طرح برگزاری رویداد جمعیتی فقط بر موارد اضطراری طی یک رویداد تمرکز می‌کند، اما تجربه‌های ناشی از ازدحام جمعیت نشان می‌دهد اکثر حوادث جمعیتی یا طی ورود یا خروج رخ می‌دهند [۱۲].

در جدول تشکیل شده گزاره‌هایی که ریسک کمتری ایجاد می‌کنند، با رنگ سبز مشخص می‌شوند که راهبردی برای اصلاح آن در نظر گرفته نمی‌شود. گزاره‌هایی که ریسک متوسط برای آن‌ها ارزیابی می‌شود، با رنگ زرد شناسایی می‌شوند که اغلب یا همواره باید پایش شوند یا اصلاحاتی برای آن در نظر گرفت. همچنین، گزاره‌هایی که به عنوان ریسک بالا شناسایی می‌شوند، رنگ قرمز برای آن در نظر گرفته می‌شود که نیاز است راهبردها و اقدامات اصلاح‌بخش مشخصی برای آن‌ها در نظر گرفت. جدول ۱ می‌کوشد تا سه بعد مدیریت جمعیت از جمله طراحی، اطلاعات و مدیریت را در فضاهای سه‌گانه مترو مورد توضیح قرار دهد.

جدول ۱. DIM-ICE: معیارهای قابل سنجش با رویکرد ارزیابی سوانح ناشی از ازدحام جمعیت

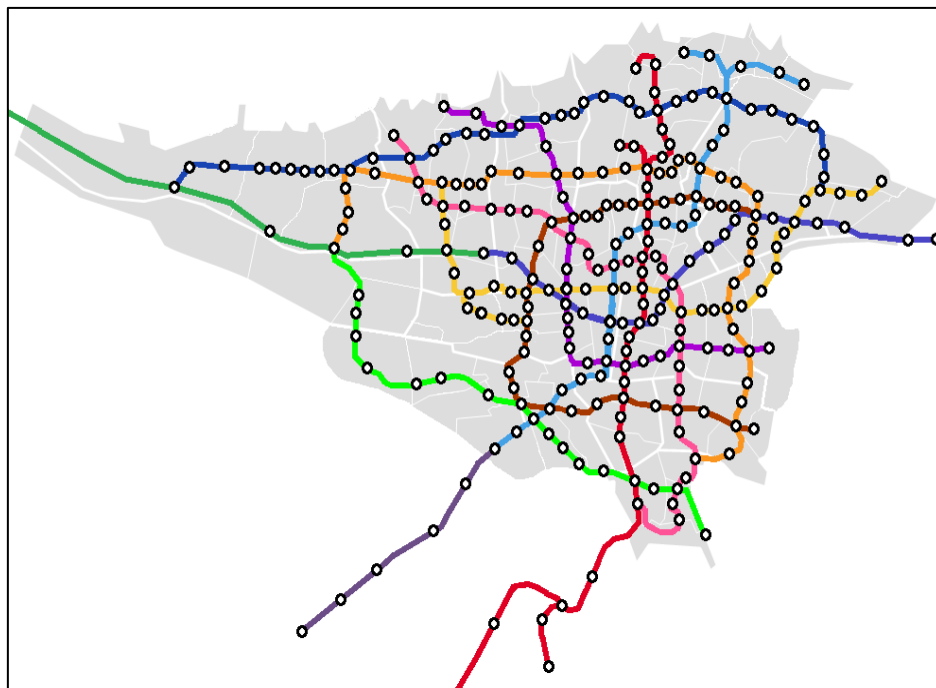
شرایط نرمال / شرایط اضطراری	ورود Ingress	سیر کولاسیون Circulation	خروج Egress
طراحی Design	نحوه ورود افراد به ایستگاه‌های مترو از منظر طراحی و ویژگی‌های کالبدی مورد بررسی قرار می‌گیرد.	نحوه گردش و حرکت افراد در ایستگاه‌های مترو در این بخش از منظر طراحی و ویژگی‌های کالبدی مورد بررسی قرار می‌گیرد.	نحوه خروج افراد از ایستگاه‌های مترو پس از بازگشت شرایط به حالت عادی در این بخش از منظر طراحی و ویژگی‌های کالبدی مورد بررسی قرار می‌گیرد.
اطلاعات Information	اطلاع‌رسانی به افراد هنگام ورود به ایستگاه‌های مترو در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد.	اطلاع‌رسانی به افراد هنگام حرکت در ایستگاه‌های مترو در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد.	اطلاع‌رسانی به افراد هنگام خروج از ایستگاه‌های مترو در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد.
مدیریت Management	ورود افراد به ایستگاه‌های مترو از منظر مدیریتی در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد.	سیر کولاسیون و حرکت افراد در ایستگاه‌های مترو از منظر مدیریتی در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد.	خروج از ایستگاه‌های مترو در این بخش از منظر مدیریتی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

همان‌طور که در جدول ۱ DIM-ICE مشخص است، کلیه معیارهای قابل سنجش با رویکرد ارزیابی سوانح ناشی از ازدحام جمعیت در ایستگاه‌های مترو تعریف شده‌اند. در ادامه این روش برای بررسی استفاده از ایستگاه‌های متروی تهران در شرایط بحرانی به عنوان پناهگاه با رویکرد مدیریت ازدحام جمعیت استفاده می‌شود.

۳-۲. بررسی استفاده از ایستگاه‌های متروی تهران به عنوان پناهگاه در شرایط بحرانی

در کلان‌شهری مانند تهران که همواره در معرض مخاطرات طبیعی و انسانی (از جمله زلزله، سیل، یا حملات احتمالی) قرار دارد، شناسایی و مناسب‌سازی فضاهای امن عمومی به‌ویژه در مواقع بحرانی، از اولویت‌های مدیریت شهری محسوب می‌شود. ایستگاه‌های مترو به دلیل موقعیت زیرزمینی، ساختار نسبتاً مقاوم و گستردگی شبکه، می‌توانند به عنوان پناهگاه‌های ایمن در شرایط اضطراری عمل کنند. در حال حاضر، در شهر تهران هفت خط مترو به همراه ۱۶۰ ایستگاه در مناطق بیست و دو گانه

تهران در حال خدمات‌رسانی به شهروندان هستند. با این حال، یکی از چالش‌های اساسی در استفاده از این فضاها، مدیریت ازدحام جمعیت است که در صورت عدم برنامه‌ریزی صحیح، خود می‌تواند به عاملی تهدیدکننده تبدیل شود. شکل ۲، پخشایش ایستگاه‌های مترو را در شهر تهران نشان می‌دهد.



شکل ۲. پراکنش مناسب ایستگاه‌های مترو در شهر تهران

این پژوهش با انجام مشاهدات میدانی تصادفی در ایستگاه‌های متروی تهران و با به‌کارگیری روش DIM-ICE، به تحلیل مؤلفه‌های حیاتی شامل نظام ورودی‌ها، خروجی‌ها و الگوی گردش جمعیت در فضای داخلی ایستگاه‌ها از منظر ایمنی در شرایط ازدحام می‌پردازد. این چارچوب به طور خاص بر سه محور تمرکز دارد:

- طراحی (Design): بررسی ساختار کالبدی ایستگاه‌ها.
- اطلاعات (Information): نقش سیستم‌های هشدار و راهنمایی مسیر در کاهش سردرگمی.
- مدیریت (Management): پروتکل‌های کنترل جمعیت و هماهنگی بین نهادهای مسئول.

۳-۲-۱. بررسی ورودی و خروجی‌های ایستگاه‌های مترو

ورودی‌ها و خروجی‌های ایستگاه‌های مترو به عنوان اولین نقطه تماس جمعیت با فضای زیرزمینی، نقش حیاتی در مدیریت جریان تردد و پیشگیری از ازدحام دارند. طراحی نامناسب این فضاها می‌تواند به سرعت به گلوگاه‌های امنیتی تبدیل شود، به‌ویژه در شرایط اضطراری که نیاز به تخلیه سریع وجود دارد. عرض نامتناسب درگاه‌ها در مقایسه با ظرفیت جمعیت‌پذیری خود چالشی کلیدی محسوب می‌شوند. بسیاری از ایستگاه‌های متروی تهران با عرض محدود درگاه‌های ورود/خروج (کمتر از ۲/۵ متر برای دوطرفه) مواجه هستند که در شرایط بحرانی می‌تواند سبب ایجاد صف‌های طولانی و افزایش خطر فشردگی جمعیت شوند. به عنوان مثال، همان‌طور که در تصویر ۳-ج و تصویر ۳-چ مشاهده می‌شود، گشودگی ورودی‌ها در ایستگاه‌های تجریش و نواب صفوی در شرایط بحران می‌تواند چالش‌برانگیز باشد.

پله‌های ورودی ایستگاه‌های مترو به عنوان اولین عنصر کاهنده سرعت در جریان حرکت جمعیت، نقش تعیین‌کننده‌ای در مدیریت ازدحام دارند. اگرچه طراحی این پله‌ها اغلب با ملاحظات ایمنی در برابر آب‌های سطحی (مانند جلوگیری از نفوذ سیلاب)

صورت می‌گیرد، اما عدم توجه به اصول ارگونومی^۱ و روانشناسی حرکت جمعیت می‌تواند به کاهش کارایی تخلیه اضطراری و افزایش خطرات ناشی از فشردگی منجر شود. طراحی پله‌های ورودی مترو باید ترکیبی از ملاحظات هیدرولیکی و انسانی باشد که نه تنها از یک سو، با ارتفاع و شیب مناسب از نفوذ آب جلوگیری کند، بلکه از سوی دیگر، با رعایت ابعاد ارگونومیک و چیدمان هوشمند، از تبدیل شدن به نقطه بحرانی در ازدحام بپرهیزد. به عنوان مثال، تصویر ۳-ب و تصویر ۳-پ دو نوع ساختار متفاوت پله ورودی/خروجی را نشان می‌دهد یکی به طور مستقیم به معبر پیاده و دیگری به واسطه گشایشی به گذرگاه متصل می‌شود. همچنین، همان‌طور که در تصاویر مشخص است، هندسه پله‌های ورودی متفاوت است.

تصویر ۳-الف نمونه مناسب‌تری از ورودی مترو را نمایش می‌دهد که در آن، تناسب دقیقی بین گشودگی ورودی، پله‌ها و راهروهای دسترسی به سطوح زیرین برقرار شده است. این طراحی هوشمندانه از ایجاد گلوگاه‌های حرکتی جلوگیری کرده و جریان روان تردد را تضمین می‌کند. انتخاب مصالح به‌کاررفته در ورودی‌ها و خروجی‌های ایستگاه‌های مترو از اهمیت راهبردی برخوردار است. به‌کارگیری مواد کم‌مقاومت و شکننده می‌تواند در شرایط تراکم جمعیت یا وضعیت‌های اضطراری، چالش‌های امنیتی جدی ایجاد کند. همان‌گونه که تصاویر ۳-ت و ۳-ح به‌وضوح این مسئله را مستندسازی کرده‌اند. طراحی ورودی‌ها و خروجی‌های ایستگاه باید به گونه‌ای باشد که بازشوهای آن‌ها مستقیم به معبر اصلی منتهی نشوند، چرا که این امر موجب اختلال در جریان حرکت جمعیت می‌شود. همچنین، تأمین فضای باز کافی در جلوی درب‌ها نقش حیاتی در کاهش خطر ازدحام دارد. تصاویر ۳-خ و ۳-د به‌وضوح تأثیر این طراحی را در مدیریت جریان جمعیت نشان می‌دهند.

ورودی‌های مترو از نظر موقعیت مکانی و انعطاف‌پذیری طراحی به دو گروه اصلی مستقل تصویر ۳-ذ و تلفیقی تصویر ۳-ث تقسیم می‌شوند. ورودی‌های مستقل دارای موقعیت آزاد در معابر عمومی و اتصال مستقیم به فضای شهری هستند و مزیت اصلی آن انعطاف‌پذیری بالا در طراحی و امکان اعمال تغییرات آتی و در نتیجه، امکان مناسب‌سازی آسان برای مدیریت جریان جمعیت است. ورودی‌های تلفیقی با سایر کاربری‌های شهری ادغام شده و محدودیت بازطراحی دارند. چالش‌های حقوقی ناشی از مالکیت مشترک، محدودیت‌های فنی در اصلاح ساختار و نیاز به هماهنگی بین‌سازمانی برای هرگونه تغییر امکان محدود در اعمال تغییرات و مناسب‌سازی ایجاد می‌کنند.

در مجموع، این تفاوت‌های ساختاری تأثیر مستقیمی بر قابلیت‌های مدیریت جمعیت از طریق امکان توسعه و مناسب‌سازی آتی دارد. از جمله عوامل تأثیرگذار بر کارایی ورودی‌های مترو، وجود موانع فیزیکی نابه‌جا و عناصر مزاحم در حریم دسترسی است که عمدتاً شامل موانع سنگی یا بتنی پیاده‌رو، پایه‌های روشنایی و تیرهای چراغ‌برق، دست‌فروشان و سازه‌های تبلیغاتی محیطی است. این عناصر مزاحم موجب کاهش عرض مؤثر مسیرهای تردد، ایجاد گلوگاه‌های حرکتی، اختلال در جریان روان پیاده‌روها، کاهش ظرفیت عبور و مرور، افزایش احتمال ازدحام و ایجاد خطرات ایمنی در شرایط اضطراری می‌شوند.

به نظر می‌رسد مدیریت ازدحام جمعیت و اطلاع‌رسانی در ورودی و خروجی‌های مترو به طور مؤثری وجود ندارد و این نقص می‌تواند در شرایط اضطراری مشکلات جدی‌تری را ایجاد کند. نبود سیستم‌های مناسب برای هدایت و کنترل جمعیت در این فضاهای شلوغ، باعث می‌شود که افراد در مواقع بحرانی نتوانند به‌سرعت و به طور مؤثر به نقاط ایمن دسترسی پیدا کنند. همچنین، نبود اطلاعات دقیق و به‌موقع در مورد وضعیت مترو و مسیرهای خروجی، موجب سردرگمی و افزایش استرس جمعیت می‌شود، که این امر می‌تواند تبعات ناگواری در شرایط اضطراری به همراه داشته باشد. در نتیجه، بهبود مدیریت ازدحام و ارتقای سیستم‌های اطلاع‌رسانی در مترو ضروری است تا ایمنی و رفاه افراد در مواقع بحرانی تضمین شود.

۳-۲-۲. فضای گردش ایستگاه‌های مترو

بررسی چالش‌های فضاهای گردش ایستگاه‌های مترو از ابعاد مختلف در بروز سانحه ازدحام جمعیت، یک موضوع بسیار مهم و پیچیده است. در ادامه، به تشریح این چالش‌ها پرداخته می‌شود و عوامل مختلف مؤثر در بروز سانحه ازدحام جمعیت در فضاهای گردش مورد بررسی قرار می‌گیرد. وجود موانع یکی از چالش‌های مهم فضای گردش است. موانع فیزیکی مانند دیوارها، ستون‌ها،

نرده‌ها می‌توانند مسیرهای عبور را محدود کنند و باعث ازدحام شوند. وجود موانع غیرضروری مانند تابلوهای بزرگ یا دکورهای مزاحم و نه‌چندان کاربردی و مهم فضای حرکت را تنگ‌تر می‌کنند. در چنین حالتی، مسافران در مواقع شلوغی نمی‌توانند به راحتی مسیرهای خروجی را پیدا کنند و این می‌تواند به ایجاد فضاهای شلوغ و خطرناک منجر شود.



تصویر پ



تصویر ب



تصویر الف



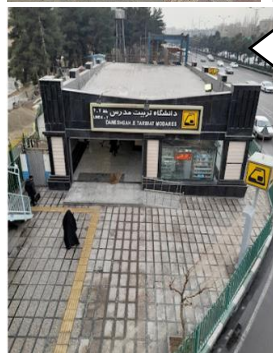
تصویر ج



تصویر ث



تصویر ت



تصویر ح



تصویر

چ

تصویر

ح



تصویر د



تصویر ذ

شکل ۳. تصاویر ورودی/ خروجی‌های مترو برخی از ایستگاه‌های مترو تهران

تصویر ۴- ص دال بر این موضوع است. گیت‌ها و سیستم‌های امنیتی نیز از دیگر موارد درخور توجه است. تعداد زیاد یا ناکافی گیت‌ها می‌تواند باعث ایجاد صف‌های طولانی و ازدحام شود. زمان بر بودن فرایند عبور از گیت‌ها ممکن است موجب تجمع جمعیت در نقاط خاصی شود. (تصاویر ۴- س و ۴- ش) در مواقع اضطراری، این تجمع می‌تواند به تأخیر در خروج مسافران و افزایش خطرات منجر شود. ابهام در فضا نیز چالشی مهم در گردش جریان جمعیت در ایستگاه‌های مترو محسوب می‌شود. نبود نشانه‌گذاری واضح و خوانا و طراحی نامناسب فضا که جریان حرکت را به‌درستی هدایت نمی‌کند، می‌تواند باعث سردرگمی جمعیت شود، افراد ندانند به کدام سمت بروند و این می‌تواند به تجمع در نقاط خاص در ایستگاه‌های مترو و افزایش خطر ازدحام منجر شود.

به‌علاوه، کمبود سیستم اطلاع‌رسانی مناسب یا سیستم‌های اطلاع‌رسانی ناکارآمد و اطلاعات به‌روز درباره وضعیت ایستگاه‌ها و زیرساخت‌های مرتبط با آن‌ها در کنار کمبود تابلوهای راهنما و اعلام وضعیت از شرایط ازدحام به صورت صوتی یا تصویری از مهم‌ترین چالش‌های اطلاعاتی در فضاهای گردش محسوب می‌شوند. عدم اطلاع‌رسانی به‌موقع از تغییرات ازدحام در بخش‌های مختلف می‌تواند باعث ایجاد نگرانی و تجمع جمعیت در نقاط خاص شود. از سوی دیگر، عواملی مانند شایعات و اطلاعات نادرست نیازمند ارائه اطلاعات صحیح و دقیق هستند تا بتوان آثار منفی آن‌ها را کاهش داد و این امر نیز بر لزوم اطلاع‌رسانی درست تأکید می‌کند. تصویر ۴- ز نبود سیستم‌های مؤثر اطفای حریق در فضاهای عمومی و مسیرهای خروج را نشان می‌دهد که بر چالش‌های ازدحام به‌ویژه در شرایط اضطراری می‌افزاید. کارایی کمتر سیستم اطفای حریق و در صورت بروز حریق یا بحران، نبود این سیستم‌ها می‌تواند به وحشت و ازدحام جمعیت منجر شود. نبود تیم‌های هدایتگر ازدحام جمعیت و نبود افراد آموزش‌دیده برای هدایت و مدیریت ازدحام در مواقع شلوغی یا بحران نیز بر خطر بروز سوانح ناشی از ازدحام جمعیت در شرایط اضطراری می‌افزاید، به طوری که در مواقع اضطراری، نبود هدایتگر می‌تواند به بدتر شدن وضعیت و افزایش خطر منجر شود. به‌علاوه، نبود تیم‌های اورژانس یا نجات در ایستگاه‌ها نیز به‌ویژه در شرایط ویژه ریسک جراحات و تلفات را افزایش می‌دهد. نورپردازی ناکافی یا نامناسب می‌تواند دید را کاهش دهد و موجب ایجاد حس ترس و سردرگمی شود. همچنین، نورپردازی خیره‌کننده یا ناهماهنگ می‌تواند تأثیر منفی روی جمعیت به‌ویژه هنگام فرار بگذارد. به عنوان مثال در شرایط نوری ضعیف، جمعیت نمی‌تواند به راحتی مسیر خروج را پیدا کند و این می‌تواند خطرات ازدحام را افزایش دهد. تصویر ۴- ر وجود پله‌های تنگ و کم‌عرض که باعث کندی حرکت جمعیت می‌شود نیز می‌تواند تأثیری منفی بر گردش جمعیت در ایستگاه‌های مترو به‌ویژه هنگام فرار و پناه گرفتن بگذارد. تجمع جمعیت در نقاطی که پله یا پله برقی وجود دارد می‌تواند خطر ازدحام را افزایش دهد. در این میان، نبود پله برقی یا آسانسور در مکان‌های مناسب برای افراد با محدودیت حرکتی بر مسائل می‌افزاید (تصویر ۴- ژ).

در شرایط ازدحام، هوای تازه به‌سختی وارد فضا می‌شود. سیستم تهویه نامناسب و عدم گردش هوای کافی می‌تواند باعث ایجاد احساس ناراحتی و اضطراب در جمعیت پناهجو شود و احتمال بروز سوانح ناشی از ازدحام جمعیت را افزایش می‌دهد. عدم آموزش کافی پرسنل در زمینه مدیریت بحران و رفتار در شرایط اضطراری مقوله‌ای چالش‌برانگیز است. نبود اطلاعات کافی درباره چگونگی هدایت جمعیت و برقراری نظم در مواقع ازدحام نیز بر ابعاد مسئله می‌افزاید. در مواقع بحرانی، پرسنل نمی‌توانند به‌درستی رفتار کنند و این ممکن است به ایجاد هرج و مرج و خطرات بیشتر منجر شود. بنابراین، چالش‌های متعدد در فضاهای گردش ایستگاه‌های مترو می‌توانند به بروز حوادث ناگوار و ازدحام جمعیت منجر شوند. توجه به طراحی مناسب، بهبود سیستم‌های اطلاع‌رسانی، آموزش پرسنل، و ایجاد سازوکارهای مناسب برای مدیریت جمعیت می‌تواند به کاهش این خطرات کمک کند و تجربه بهتری برای مسافران فراهم آورد.

۴. تحلیل DIM_ICE و راهکارها

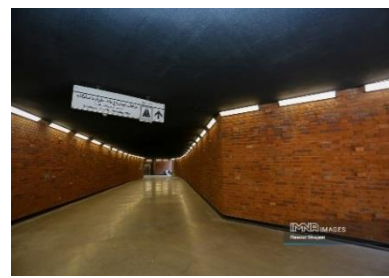
برای ارائه راهکارها ابتدا جدول DIM-ICE ایستگاه‌های مترو در شرایط اضطراری تدوین می‌شود. در این جدول تلاش بر این است تا چالش‌های ازدحام جمعیت از سه دریچه طراحی، اطلاعات و مدیریت در سه موضع ورودی، خروجی و فضای داخلی ایستگاه‌های مترو استخراج شود (جدول ۲).



تصویر ژ



تصویر ز



تصویر ر



تصویر ص



تصویر ش



تصویر س

شکل ۴. تصاویر مترو و فضاهای گردش

جدول ۲. تحلیل DIM-ICE برای ایستگاه‌های مترو

خروج Egress	سیر کولاسیون Circulation	ورود Ingress	شرایط اضطراری
خروجی اغلب ایستگاه‌های مترو با ورودی یکسان است، بنابراین تعداد و عرض آن‌ها متناسب با جمعیت خروجی نیست.	در مسیرهای حرکت افراد و جمعیت در داخل ایستگاه‌های مترو موانع ضروری و غیرضروری از جمله فضاهای تجاری و خدماتی وجود دارند.	اغلب ایستگاه‌های متروی تهران دارای ورودی‌های محدود و با عرض نامناسب به نسبت جمعیت هستند.	طراحی Design
در بسیاری از ایستگاه‌ها، خروجی متروها به مسیرهای و خیابان‌های شلوغ شهری باز می‌شوند.	در مسیرها حرکت جمعیت و سالن بلیت، گیت‌های موجود مانع از حرکت روان جمعیت می‌شود.	در ورودی تعدادی از ایستگاه‌ها بساط دست‌فروشان مانع از تردد روان می‌شود.	
در بسیاری از ایستگاه‌ها خروجی متروها به معابر و خیابان‌های شلوغ شهری باز می‌شوند.	ابهام در طرح‌بندی برخی ایستگاه‌ها بر پیچیدگی مسیرهای دسترسی و فضا می‌افزاید و فرایند تصمیم‌گیری هنگام وقوع شرایط اضطراری را با مشکل مواجه می‌سازد.	در بسیاری از ایستگاه‌ها ورودی متروها به مسیرهای و خیابان‌های شلوغ شهری باز می‌شوند.	
در خروجی ایستگاه‌های مترو در سطح شهر پله‌های متعدد و غیر خطی با ارگونومیک غیرساده وجود دارد.	کمبود و نبود نشانه‌گذاری واضح و خوانا مسیریابی را هنگام بروز شرایط اضطراری دشوار می‌کند.	در ورودی ایستگاه‌های مترو در سطح شهر پله‌های متعدد و غیر خطی با ارگونومیک غیرساده وجود دارد.	
احتمال بسته بودن برخی خروجی‌ها وجود دارد.	سیستم اطفای حریق در شرایطی که ایستگاه مترو مملو از جمعیت است کمتر کارآمد و مؤثر است.	فاصله ورودی مترو اغلب ایستگاه‌های مترو با شروع پله‌های تعریف‌شده در سطح شهر بسیار کم است.	
عرض برخی درگاه‌ها به نسبت نرخ خروج جمعیت در شرایط اضطراری نامناسب است.	گاه مسیرها و کریدورهای حرکتی چرخش دارند یا زاویه‌دار هستند که می‌تواند جریان روان جمعیت را در شرایط اضطرار تحت تأثیر قرار دهد.	درب‌های ورودی مترو در ساعت غیرکاری بسته هستند.	
برخی ایستگاه‌های مترو دارای گشودگی جلوی خروجی‌ها است.		عرض نامناسب برخی درگاه‌ها به نسبت جمعیت	

ادامه جدول ۲.

شرایط اضطراری	ورود Ingress	سیر کولاسیون Circulation	خروج Egress
	برخی ایستگاه‌های مترو دارای گشودگی جلوی ورودی هستند.	نورپردازی در مسیرها، سالن بلیت و سالن بلیت در برخی ایستگاه‌ها ناکافی یا نامناسب هستند.	مصالح و متریال برخی از خروجی‌ها شکننده و ترکش‌شونده هستند.
	مصالح و متریال برخی از ورودی‌ها شکننده و ترکش‌شونده هستند.	پله‌ها در برخی از ایستگاه‌ها از عرض نامناسب برخوردار هستند.	طراحی امکان تداخل جریان‌های خروجی با جریان‌های گذرگاهی را ایجاد می‌کند.
	طراحی امکان تداخل جریان‌های ورودی با جریان‌های گذرگاهی را ایجاد می‌کند.	سالن بلیت امکان پناه دادن جمعیت در طولانی‌مدت را ندارند.	برخی از درگاه‌های خروجی مستقل طراحی شده‌اند.
	برخی از درگاه‌های ورودی مستقل طراحی شده‌اند.	تهویه هوا در برخی از ایستگاه‌های مترو نامناسب است.	برخی درگاه‌های خروجی تلفیقی (در پیوست و کنار سایر اینیه) طراحی شده‌اند و به واسطه سایر عناصر کالبدی محدود شده‌اند.
اطلاعات Information	نبود سیستم اطلاع‌رسانی مناسب و سیستم‌های اطلاع‌رسانی ناکارآمد و نبود ورودی‌ها	نبود سیستم اطلاع‌رسانی مناسب و سیستم‌های اطلاع‌رسانی ناکارآمد و نبود اطلاعات به‌روز در مسیری گردش	نبود سیستم اطلاع‌رسانی مناسب و سیستم‌های اطلاع‌رسانی ناکارآمد و نبود اطلاعات به‌روز در خروجی‌ها
	اطلاعات کافی از میزان و نرخ ورود جمعیت به هر ایستگاه مترو در محلات شهری برای پناهگیری وجود ندارد.	ظرفیت ایستگاه‌های مترو برای پناهگیری جمعیت در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت بررسی نشده و اطلاعات کافی در این زمینه وجود ندارد.	
مدیریت Management	تابلوهای راهنما و تجهیزات اعلام وضعیت در لحظه به صورت صوتی یا تصویری در ورودی‌ها، خروجی‌ها و داخل ایستگاه‌های مترو وجود ندارد.		
	در شرایط اضطراری دست‌فروشان و جمعیت خدماتی اطراف ایستگاه‌های مترو برای پناهگیری به ازدحام ملحق می‌شوند.	مدیریت پخشایش ایمن ازدحام پس از ورود جمعیت به فضای باز و سالن بلیت مترو بعد از پناهگیری وجود ندارد.	مدیریت و برنامه مدونی برای تخلیه جمعیت بعد از بازگشت شرایط به حالت عادی وجود ندارد.
	بساط دستفروشان و اتومبیل‌های تاکسی در معابر و دسترسی‌ها رها شده‌اند و تردد را دشوار می‌کنند.	دسترسی به خدمات و سرویس بهداشتی دشوار است.	بساط دستفروشان و اتومبیل‌های تاکسی در معابر و دسترسی‌ها رها شده‌اند و تردد را دشوار می‌کنند.
	تیم‌های هدایتگر ازدحام جمعیت و افراد آموزش‌دیده برای هدایت و مدیریت ازدحام وجود ندارد.		
	مردم آموزش کافی برای رفتار در ازدحام هنگام پناهگیری در شرایط اضطراری را دریافت نکرده‌اند.		
	تیم‌های اورژانس یا نجات در ایستگاه‌های مترو به‌ویژه در شرایط اضطراری برای کمک‌رسانی در صورت نیاز وجود ندارد.		
	مرکز مدیریت بحران ازدحام جمعیت که شامل شبکه‌ای با در نظر گرفتن اقدامات متناظر با سطح ریسک ازدحام جمعیت باشد در ایستگاه‌های مترو وجود ندارد.		

در ادامه از تحلیل انجام‌شده، راهکارهایی برای تبدیل متروها به پناهگاه‌های کارآمد ارائه می‌شود که در عین حفظ ایمنی، از تبدیل شدن به دام‌های مرگبار در مواقع بحران و هنگام پناهگیری هنگام جنگ جلوگیری شود. در راستای بررسی‌های انجام‌شده، راهکارهایی به قرار زیر ارائه می‌شود:

- آموزش، افزایش آگاهی عمومی و آماده‌سازی: آموزش‌های عمومی درباره رفتار در شرایط بحران و نحوه پناهگیری می‌تواند به افراد کمک کند تا در مواقع اضطراری بهتر عمل کنند. در این راستا، تولید و توزیع منابع آموزشی امری سودمند است. انتشار بروشورها، ویدئوها و اطلاعات آنلاین درباره اقدامات لازم در شرایط جنگ و پناهگیری در راستای دوری از ازدحام می‌تواند به افزایش آگاهی عمومی کمک کند. همچنین، شهروندان باید در مورد روش‌های دسترسی به ایستگاه‌ها در شرایط بحرانی و نحوه رفتار در شرایط اضطراری و ازدحام آگاه باشند. این موضوع می‌تواند به کاهش سوانح ناشی از ازدحام و بهبود مدیریت بحران کمک کند. ارتقا و آموزش کارکنان نیز امری ضروری است. کارکنان ایستگاه باید در مورد نحوه مدیریت جمعیت و همچنین، عملکرد گیت‌ها در شرایط اضطراری، به‌ویژه در مواقعی که گیت‌ها به‌درستی

کار نمی‌کنند آموزش‌های لازم را دریافت کنند. همچنین، کارکنان مترو باید بتوانند تا ازدحام را در ورودی و خروجی‌ها مدیریت کنند. آموزش کارکنان در ایجاد ارتباط اصلاح با پناهگیران و شهروندان و همچنین، ارتباط با نهادهای مرتبط، شناسایی سریع رفتارهای مشکوک و پرخطر و مدیریت هرگونه شرایط پیچیده اضطراری آموزش‌های لازم را دریافت کنند. به‌علاوه، انتظار می‌رود تعداد کارکنان در ایستگاه‌های مترو برای کمک به شرایط اضطراری افزایش یابد و کارکنان مترو بتوانند درباره نحوه استفاده از تجهیزات آموزش ببینند. برگزاری تمرین‌های شبیه‌سازی برای آزمایش واکنش‌های جمعیت و کارکنان به شرایط اضطراری و بررسی کارایی ایستگاه‌های مترو هنگام پناهگیری از دیگر اقدامات مهم است.

- بازطراحی در صورت امکان و بهبود زیرساخت‌ها: افزایش نقاط خروجی و ورودی باید مورد توجه قرار بگیرد. طراحی و ساخت خروجی/ ورودی‌های بیشتر و واضح‌تر در ایستگاه‌های مترو در صورت امکان می‌تواند به کاهش ازدحام کمک کند. افزایش تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها: طراحی و ساخت ورودی‌ها و خروجی‌های اضافی در ایستگاه‌های مترو می‌تواند به تسهیل جریان جمعیت کمک کند. طراحی ورودی و خروجی نیز می‌تواند به فراخور جریان و نرخ جمعیت مورد انتظار بهبود یابد. ورودی‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که بتوانند به سرعت و به راحتی مورد استفاده قرار گیرند. ایجاد مسیرهای خروجی اضطراری مشخص و قابل دسترسی در ایستگاه‌ها می‌تواند در شرایط بحرانی کمک کند تا افراد بتوانند به سرعت از ایستگاه خارج شوند. لازم است سیستم‌های ارتباطی و اطلاع‌رسانی در ایستگاه‌های مترو در هدایت اثربخش جمعیت ارتقا پیدا کند. استفاده از سیستم‌های هشداردهنده و پیام‌رسانی برای اطلاع‌رسانی به مردم درباره وضعیت‌های اضطراری و راه‌های امن پناهگیری راهکاری کارآمد است. نیاز است که اطلاع‌رسانی در ایستگاه‌های مترو پیوسته باشد. ایجاد کانال‌های ارتباطی برای ارائه اطلاعات در لحظه و دقیق در مورد وضعیت‌های بحرانی و مکان‌های امن اقدامی درخور توجه است. علائم و نشانه‌های واضح در اطراف گیت‌ها و مسیرهای خروجی برای هدایت افراد و کاهش سردرگمی در زمان اضطراری لازم است. همچنین، باید اطلاعات دقیق و شفاف در مورد وضعیت‌های اضطراری، به‌ویژه درباره شایعاتی که ممکن است ایجاد وحشت کنند، ارائه شود. در این راستا، قرار دادن نمایشگرهای دیجیتال در نقاط کلیدی ایستگاه‌ها که اطلاعات مربوط به وجود آب، غذا، و دیگر امکانات را به صورت زنده و به‌روز نمایش دهند، اقدامی اثربخش است. برخی فروشگاه‌ها در سالن بلیت ایستگاه‌های مترو نه تنها از فضای پناهگیری می‌کاهند، بلکه جریان روان جمعیت را مختل می‌کنند.

نیاز است سیستم‌های پیامک و اپلیکیشن‌های موبایلی که اطلاعات حیاتی به‌ویژه در شرایط اضطراری را به افراد ارسال کنند، توسعه یابند. پخش ویدئوهای آموزشی در ایستگاه‌ها که نحوه دسترسی به امکانات و رفتار در شرایط اضطراری را به جمعیت آموزش می‌دهند نیز بر ارتقای آگاهی افراد و کاهش رفتارهای پرخطر اثرگذار است. طراحی مجدد، بهبود امکانات و افزایش کارایی فضاهای مترو نیز باید در دستور کار قرار بگیرد. این راهبرد می‌تواند کمک کند تا در شرایط اضطراری تعداد بیشتری از افراد به صورت ایمن در ایستگاه‌ها پناه بگیرند. از دیگر راهکارهای اثربخش ایجاد مراکز پناهگاه موقت در کنار ایستگاه‌های مترو است. به‌علاوه، ایجاد مراکز پناهگاه موقت در نقاط مختلف شهر می‌تواند به توزیع بهتر جمعیت و کاهش فشار بر ایستگاه‌ها کمک کند. ایجاد فضای باز و بدون موانع اقدامی مهم در راستای عدم ایجاد ازدحام است. طراحی فضا به گونه‌ای که موانع فیزیکی چالش‌برانگیز در آن وجود نداشته باشد به‌ویژه در ورودی و خروجی متروها و ایجاد مسیرهای عبور واضح و مشخص برای دسترسی به ایستگاه‌ها می‌تواند به تسهیل حرکت افراد کمک کند. نصب علائم راهنما و روشنایی مناسب در ایستگاه‌ها و پیرامون آن‌ها می‌تواند به هدایت افراد در شرایط اضطراری کمک کند و از ایجاد سردرگمی جلوگیری کند.

- مدیریت جمعیت و نظارت: استفاده از نیروهای امنیتی و امدادی در شرایط بحرانی، و حضور آن‌ها می‌تواند به هدایت جمعیت و جلوگیری از ایجاد وحشت کمک کند. فراهم کردن تجهیزات ضروری از جمله غذا، آب، دارو و امکانات بهداشتی مورد نیاز پناهگاه‌ها در ایستگاه‌های مترو برای اطمینان از رفاه پناهجویان باید مورد توجه قرار بگیرد. توسعه برنامه‌های روانشناختی نیز بعد دیگری از اقدامات مرتبط با مدیریت ازدحام جمعیت است. ارائه خدمات مشاوره و حمایت روانی به افرادی که در شرایط بحرانی قرار دارند، می‌تواند به کاهش اضطراب و وحشت کمک کند. همچنین، آموزش

تکنیک‌های مدیریت استرس و آرامش به افراد می‌تواند به آن‌ها در کنترل احساسات خود در شرایط بحرانی و جلوگیری از ازدحام ایجادشده به واسطه استرس و وحشت‌زدگی کمک کند. ایجاد مرکز مدیریت عملیات و راه‌اندازی مرکز مدیریت عملیات در ایستگاه‌ها که قادر به هماهنگی سریع و مؤثر بین نیروها و مدیریت بحران باشد. همکاری با نهادها و سازمان‌های مرتبط وجه مهم دیگری از مدیریت ازدحام جمعیت است. همکاری با نهادهای ایمنی و مدیریت بحران، نهادهای محلی، آتش‌نشانی، اورژانس و پلیس برای طراحی و اجرای برنامه‌های مدیریت بحران و ایمنی در ایستگاه‌های مترو ضروری است. لازم است اطاق فرماندهی و تجهیز آن به امکانات مورد نیاز در هر یک از ایستگاه‌های مترو در نظر گرفته شود. استفاده از داوطلبان آموزش دیده نیز می‌تواند فرایند پناهگیری را تسهیل کند. ایجاد برنامه‌هایی برای جذب داوطلبان و آموزش آن‌ها می‌تواند در شرایط اضطراری به عنوان نیروی کمکی عمل کنند.

- تکنولوژی و سیستم‌های مدیریت جمعیت: استفاده از سیستم‌های هوشمند از جمله نصب دوربین‌های نظارتی و سیستم‌های مدیریت جمعیت می‌تواند به شناسایی نقاط تراکم و هدایت افراد به سمت مکان‌های امن یا خروجی‌های مناسب در شرایط اضطرار کمک کند. ایجاد سیستم‌های هشداردهنده و در وضعیت‌های اضطراری و مکان‌های خروجی می‌تواند به کاهش زمان واکنش افراد کمک کند.
- تنظیم و نگهداری گیت‌ها: تنظیم خودکار گیت‌ها: توسعه سیستم‌های خودکار برای تنظیم گیت‌ها به گونه‌ای که در شرایط اضطراری به سرعت و به آسانی باز شوند اقدامی مهم در کنترل ازدحام در ایستگاه‌های مترو هنگام هجوم جمعیت به نقاط مختلف ایستگاه برای پناهگیری است. این می‌تواند شامل حسگرهایی باشد که به محض شناسایی ازدحام یا وضعیت اضطراری، گیت‌ها را به طور خودکار باز کنند. انجام بررسی‌های دوره‌ای و نگهداری منظم روی گیت‌ها به منظور اطمینان از عملکرد صحیح آن‌ها و جلوگیری از بروز مشکلات در زمان‌های بحرانی ضروری است.
- ارتقای ایمنی، امنیت و نظارت: نصب دوربین‌های مداربسته در نقاط کلیدی ایستگاه‌ها برای نظارت بر رفتار جمعیت و شناسایی نقاط خطرناک و ارائه اطلاعات در لحظه به مرکز پیشگیری و مدیریت بحران ضروری است. نیاز است نیروهای امنیتی در ایستگاه‌ها به‌ویژه در زمان‌های پناهگیری، شلوغ و شرایط اضطراری، برای ایجاد حس امنیت و مدیریت وضعیت مستقر شوند. استفاده از تکنولوژی‌های شناسایی چهره یا دیگر سیستم‌های شناسایی افراد به منظور شناسایی افراد مشکوک و تهدیدهای امنیتی نیز اقدامی مؤثر است. تأمین کپسول‌های اطفای حریق: نصب و نگهداری کپسول‌های اطفای حریق در نقاط کلیدی ایستگاه‌های مترو، به‌ویژه در مکان‌هایی که احتمال آتش‌سوزی بیشتر است، اقدامی لازم است.
- ایجاد پست‌های پزشکی و امدادی: اهمیت ایجاد پست‌های امدادی و پزشکی در ایستگاه‌های مترو انکارناپذیر است. تأسیس پست‌های پزشکی در ایستگاه‌های کلیدی مترو که به تجهیزات اولیه پزشکی و کادر پزشکی متخصص مجهز باشند به‌ویژه در شرایط بحران‌های ناشی از جنگ ضروری است. این پست‌ها باید به گونه‌ای برپا شوند که به راحتی قابل دسترس باشند. همچنین، فراهم کردن تجهیزات پزشکی ضروری مانند دستگاه‌های تنفس مصنوعی، دستگاه شوک قلبی، و داروهای اولیه در این پست‌ها نباید مورد مسامحه قرار بگیرد. استخدام پرسنل پزشکی و امدادی در ایستگاه‌های مترو که در شرایط بحران بتوانند در مکان حاضر باشند و به منظور ارائه خدمات فوری در مواقع ضروری باید مد نظر قرار بگیرد. همچنین، لازم است دوره‌های آموزشی برای کارکنان ایستگاه‌های مترو درباره کمک‌های اولیه و نحوه پاسخ‌گویی به وضعیت‌های اضطراری پزشکی برگزار شود. ایجاد همکاری نزدیک با خدمات اورژانس محلی به منظور تسهیل در انتقال سریع بیماران و مصدومان به بیمارستان‌ها باید صورت گیرد. همچنین، پروتکل‌های مشخص برای کارکنان ایستگاه‌های مترو و پرسنل پزشکی در خصوص نحوه برخورد با وضعیت‌های اضطراری و هماهنگی با خدمات اورژانس باید تدوین شود.
- بهبود خدمات و تأمین نیازهای اولیه و اضطراری شهروندان: افزایش تعداد سرویس‌های بهداشتی و تأمین بهداشت آن‌ها در ایستگاه‌های مترو به‌ویژه برای شرایط پناهگیری که نیاز است زمان بیشتری جمعیت در ایستگاه بماند، امری ضروری است. لذا لازم است سرویس‌های جدید در صورت امکان طراحی و ساخته شوند. از فضاهای غیرقابل استفاده یا کم‌کاربرد

در ایستگاه‌ها برای ایجاد سرویس‌های بهداشتی اضافی می‌توان بهره برد. به‌علاوه، در شرایط اضطراری، می‌توان از سرویس‌های بهداشتی موقت (مانند توالت‌های سیار) استفاده کرد تا نیازهای جمعیت را برآورده کند. نصب نشانه‌ها و علائم راهنما در ایستگاه‌ها برای هدایت مسافران به سمت نزدیک‌ترین سرویس بهداشتی نباید مغفول واقع شود. در نظر گرفتن آب آشامیدنی به تعداد کافی، اغذیه برای شرایط اضطراری طولانی‌مدت، پتو، کپسول‌های اطفای حریق به تعداد کافی نیز از دیگر موارد مورد نیاز در ایستگاه‌های مترو است. لازم است انبارهای ذخیره‌سازی آب آشامیدنی و غذا در ایستگاه‌های مترو به منظور تأمین نیازهای مسافران در شرایط اضطراری ایجاد شود. تأمین منابع برق اضطراری کافی نیز باید مورد توجه قرار بگیرد. باید اطمینان حاصل شود که سیستم‌های برق اضطراری ظرفیت کافی برای تأمین نیازهای تجهیزات در شرایط بحرانی را دارند. لازم است سیستم‌های پشتیبان برای تأمین برق در صورت بروز نقص در سیستم اصلی نصب شوند. نظارت بر تهویه و کیفیت هوا و اطمینان از اینکه سیستم‌های تهویه هوای ایستگاه‌ها به‌درستی کار می‌کنند و قادر به تأمین هوای تازه و مناسب در شرایط اضطراری هستند. حسگرهای کیفیت هوا برای نظارت بر شرایط هوایی و ارائه اطلاعات به کارکنان نصب و در صورت امکان، از امکانات گرمایشی و سرمایشی موقت برای حفظ دمای مناسب در ایستگاه‌های مترو بهره برده شود.

- برنامه‌ریزی برای جابه‌جایی اضطراری جمعیت در صورت ازدحام با قطار: قطارها باید آماده برای جابه‌جایی افراد در صورت خراب شدن بناهای روی زمین مترو و مسدود شدن ورودی‌ها باشند. طرح‌های جابه‌جایی اضطراری که شامل مسیرهای جایگزین، ایستگاه‌های موقت و روش‌های جابه‌جایی به مکان‌های امن باشد باید توسعه یابند. در این راستا لازم است شناسایی ایستگاه‌های امن و مناطق باز در مناطق اطراف که می‌توانند به عنوان نقاط تخلیه یا پناهگاه عمل کنند، شناسایی شوند. نصب تجهیزات ایمنی و امکاناتی مانند جعبه‌های کمک‌های اولیه، آب آشامیدنی و مواد غذایی در قطارها به منظور حمایت از افراد در شرایط اضطراری نیز اقدامی کمک‌کننده است. همچنین، لازم است سازوکار همکاری شبکه‌ای با سایر ایستگاه‌های مترو ایجاد شود.

۵. نتیجه‌گیری

مترو، به عنوان یکی از عناصر حیاتی حمل‌ونقل عمومی در کلان‌شهرهایی همچون تهران، نه‌تنها نقش کلیدی در جابه‌جایی روزمره شهروندان ایفا می‌کند، بلکه در شرایط بحران و تهدیدهای امنیتی، نظیر حملات موشکی و حوادث جنگی، می‌تواند به عنوان پناهگاهی ایمن و قابل‌اعتماد عمل کند. با این حال، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد صرف اتکا به ویژگی‌های فیزیکی مترو، نظیر عمق قرارگیری و مقاومت سازه‌ای، برای تضمین ایمنی پناهجویان کافی نیست. عوامل متعددی همچون ازدحام شدید جمعیت، محدودیت ورودی‌ها و خروجی‌ها، وجود موانع کالبدی در مسیرهای تردد، ناکارآمدی سیستم‌های اطلاع‌رسانی، و کمبود زیرساخت‌های امدادی و پزشکی، می‌توانند کارکرد ایستگاه‌های مترو را به عنوان پناهگاه به‌شدت تضعیف کرده و حتی آن را به فضایی بالقوه خطرناک تبدیل کنند.

بررسی‌ها حاکی از آن است که مدیریت اثربخش ازدحام جمعیت در ایستگاه‌های مترو نیازمند رویکردی جامع، چندسطحی و بین‌سازمانی است که هم اصلاحات کالبدی و تجهیزاتی را در بر گیرد و هم ارتقای مهارت‌ها و آمادگی‌های انسانی را شامل شود. راهکارهای پیشنهادی این پژوهش طیفی از اقدامات کوتاه‌مدت و بلندمدت را پوشش می‌دهد که از بهبود طراحی فیزیکی ایستگاه‌ها، افزایش ظرفیت ورودی و خروجی، نصب و ارتقای سامانه‌های اطلاع‌رسانی و هشدار، ایجاد پست‌های امدادی و پزشکی، تا توسعه فناوری‌های هوشمند نظارت و کنترل جمعیت را در بر می‌گیرد. در کنار این اقدامات، آموزش کارکنان و آگاهی‌بخشی به شهروندان در خصوص رفتار صحیح در شرایط بحران و ازدحام، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و می‌تواند نقش بسزایی در کاهش خطرات ناشی از ازدحام و وحشت ایفا کند.

پیاده‌سازی موفق این راهکارها، مستلزم طراحی سناریوهای عملیاتی، برگزاری تمرینات میدانی، و ایجاد سازوکارهای هماهنگ‌کننده میان سازمان‌های مختلف از جمله مدیریت بحران، شهرداری، نیروهای امدادی و امنیتی است. چنین رویکردی می‌تواند با کاهش تراکم‌های خطرناک، تسهیل فرایند پناهگیری، و تأمین نیازهای اولیه پناهجویان، ایستگاه‌های مترو را به

زیرساخت‌هایی مقاوم، ایمن و کارآمد در برابر تهدیدهای نظامی و بلایای طبیعی تبدیل کند. در نهایت، توجه به مدیریت هوشمند و پیشگیرانه از دحام جمعیت، می‌تواند جایگاه مترو را به عنوان بخشی از سامانه پدافند غیرعامل شهری تثبیت کرده و از تبدیل این فضاها به «دام‌های جمعیتی» در شرایط بحرانی جلوگیری کند.

تشکر و قدردانی

به این وسیله از همکاری و بهره‌مندی از منابع ارزشمند متنی و تصویری که نقش بسزایی در تکمیل و غنای این اثر داشته‌اند، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود. تصاویر مورد استفاده در این اثر با رعایت اصول استناد و امانت علمی، از پایگاه‌های معتبر زیر اقتباس یا گرفته شده‌اند: ایرنا، ویکی‌پدیا، مهرنیوز، تهران‌پیکچر، صاحب‌خبر، ایسنا، سفرمارکت، همشهری‌آنلاین، متقاضی، مهرنیوز، مشرق‌نیوز، برنا، رکنا، قدس‌آنلاین. بدون بهره‌گیری از این منابع ارزشمند، ارائه بخش‌های تصویری این مجموعه به شکل کنونی امکان‌پذیر نبود.

منابع

1. T. Zhidkova and . Y. Selikhova, justification of the expediency of using the urban underground infrastructure for the organization of civilian population, Municipal economy of cities, 2022.
2. A. Lawrey, "The Warsaw metro and the Warsaw pact," 2020.
3. T. Zhidkova, Y. Selikhova and V. Kazachenko, Urban-aspects aspects of organization of energy-efficient underground space for protection, Theory and practice of design, 2022.
4. T. Zhidkova and . Y. Selikhova, "justification of the expediency of using the urban underground infrastructure for the organization of civilian population," in Municipal economy of cities, 2022.
5. A. Lawrey, "The Warsaw metro and the Warsaw pact," in Cold War Cities, 2020.
6. "<https://infra.economicstimes.indiatimes.com/news/urban-transportation/how-underground-metro-stations-serve-as-essential-bomb-shelters-in-times-of-conflict/12105160>," 2024; [Online].
7. "<https://www.euronews.com/travel/2022/02/25/ukraine-war-europe-s-most-impressive-metro-station-becomes-bomb-shelter>," [Online].
8. A. Bulat, O. Krukovskyi and S. Kurno, "Communication and technological solutions regarding the construction of shelter objects at underground railway stations in fractured and water-logged rocks," in Geo-Technical mechanics, 2023.
9. A. Bulat, O. Krukovskyi and S. Kurno, "Communication and technological solutions regarding the construction of shelter objects at underground railway stations in fractured and water-logged rocks," in Geo-Technical mechanics, 2023.
10. T. Zhidkova, Y. Selikhova and V. Kazachenko, "Urban-aspects aspects of organization of energy-efficient underground space for protection," in Theory and practice of design, 2022.
11. Asgary A, Arzhangi S, "Crowd Disaster Management: Concepts, Theories and Methods" [in Persian], Noor-e-elm publication; 2017.
12. G. K. Still, Introduction to Crowd Science, Taylor & Francis Group, 2014, p. 143.



Fire Safety Management and Strategies for Its Improvement in Tehran Metropolis: A Study on Structural, Operational, and Socio-Cultural Challenges

Ghodrat Allah Mohammadi^{1*} | Kamran Abdevali² | Vahid Bahrami³

1. Corresponding Author, PhD in Environmental Science, Tehran Metropolitan Fire Department and Safety Services Organization, Tehran, Iran. Email: ghmohamadi95@gmail.com

2. PhD in Environmental Science, Tehran Metropolitan Fire Department and Safety Services Organization, Tehran, Iran. Email: kamranabdovali520@gmail.com

3. PhD in Architectural Engineering, Senior Expert, Deputy of Prevention, Tehran Metropolitan Fire Department and Safety Services Organization, Tehran, Iran. Email: bahrami@live.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 05 June 2025
Revised 02 July 2025
Accepted 23 August 2025
Published Online 11 September 2025

Keywords:
Fire Safety Management,
Metropolis of Tehran,
Urban Resilience,
Safety Governance,
Structural and Functional Challenges.

ABSTRACT

This research aims to analyze the structural, functional, and socio-cultural challenges in fire safety management within the metropolis of Tehran and to propose strategies for its enhancement, drawing upon empirical evidence and qualitative analysis. Given the critical role of fire safety in urban sustainability and the protection of citizens' lives and property, this study investigates existing obstacles by focusing on three key dimensions: structurally, the necessity for infrastructure improvement and the imbalanced growth of urbanization; functionally, the need for modernization in equipment, processes, and inter-organizational coordination; and socio-culturally, the imperative to raise public awareness and citizen participation in adhering to safety principles. The findings indicate that these challenges systematically affect the efficiency of fire safety management in Tehran. In response to these impediments, three categories of strategies are proposed: (1) preventive strategies, including the revision of regulations, improvement of inspection systems, and promotion of a safety culture; (2) reactive and resilient strategies, such as strengthening the operational capabilities of relevant organizations and developing rescue and relief infrastructure; and (3) institutional-managerial strategies, such as establishing a central authority responsible for safety, efficient resource allocation, and promoting integrated governance. The effective implementation of these strategies necessitates the active participation of all stakeholders and the formulation of synergistic policies to enhance urban resilience against fire incidents.

Cite this article: Mohammadi, Gh.; Abdevali, K. & Bahrami, V. (2026). Fire Safety Management and Strategies for Its Improvement in Tehran Metropolis: A Study on Structural, Operational, and Socio-Cultural Challenges. *Urban Development Policy Making*, 2 (4), 511-525. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.517687.1034>



© Ghodrat Allah Mohammadi, Kamran Abdevali, Vahid Bahrami
DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.517687.1034>

Introduction

Urban fire safety is a critical component of sustainable urban development, particularly in large metropolitan areas like Tehran, where rapid urban expansion, aging infrastructures, and population density pose severe fire-related risks. In recent years, increasing fire incidents have highlighted significant deficiencies in fire safety governance, both in terms of physical systems and institutional coordination. The objective of this study is to systematically identify and analyze the key structural,

operational, and socio-cultural challenges confronting fire safety management in Tehran and to develop comprehensive improvement strategies aligned with urban resilience principles.

Materials and Methods

This research employs a qualitative methodology to explore the complex nature of fire safety management in the context of Tehran. Data were collected through semi-structured interviews with senior officials in the fire department, urban planners, emergency response experts, and residents of high-risk zones such as informal settlements and historic districts. Document analysis of policy texts, urban plans, fire safety reports, and international benchmarks complemented the primary data. Analytical methods included open coding, thematic analysis, and constant comparative techniques to extract meaningful insights and develop strategic recommendations.

Results

Findings revealed a multifaceted set of challenges. Structurally, the city suffers from widespread unsafe building practices, informal housing growth, inadequate firefighting access, and deteriorated utility networks. Operational challenges include insufficient coordination among emergency organizations, outdated equipment, and limited technical training. On the socio-cultural front, the public exhibits low levels of awareness and engagement with fire prevention and response protocols. The compounded effect of these deficiencies significantly undermines the effectiveness and efficiency of Tehran's fire safety system.

Discussion and Conclusion

1. In response to these challenges, the study proposes a tripartite strategy framework:
Preventive Strategies such as revising building codes, strengthening inspection systems, and public education campaigns;
2. Emergency Response and Resilience Measures including upgrading firefighting infrastructure, developing rapid-response protocols, and enhancing inter-agency coordination;
3. Institutional and Governance Reforms, notably the establishment of a unified fire safety authority, stable budget allocations, and integration of fire safety into broader urban governance frameworks. Implementing these strategies in a synergistic manner, with active stakeholder participation, can notably improve Tehran's resilience to fire-related hazards and contribute to the overall urban safety agenda.



مدیریت ایمنی حریق و راهبردهای ارتقای آن در کلان شهر تهران: مطالعه‌ای پیرامون چالش‌های ساختاری، عملکردی و فرهنگی

قدرت‌الله محمدی^{۱*} | کامران عبدولی^۲ | وحید بهرامی^۳

۱. نویسنده مسئول، دکتری مهندسی محیط زیست، مدیرعامل سازمان آتش‌نشانی و خدمات ایمنی شهرداری تهران بزرگ. رایانامه: ghmohamadi95@gmail.com
۲. دکتری مهندسی محیط زیست، معاونت پیشگیری آتش‌نشانی و خدمات ایمنی شهرداری تهران بزرگ. رایانامه: kamranabdovali520@gmail.com
۳. دکتری مهندسی معماری، کارشناس ارشد معاونت پیشگیری آتش‌نشانی و خدمات ایمنی شهرداری تهران بزرگ. رایانامه: bahrami@live.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰

کلیدواژه:

مدیریت ایمنی حریق،

کلان شهر تهران،

تاب‌آوری شهری،

حکمرانی ایمنی،

چالش‌های ساختاری.

هدف پژوهش حاضر، تحلیل چالش‌های ساختاری، عملکردی و فرهنگی - اجتماعی مدیریت ایمنی حریق در کلان شهر تهران و ارائه راهبردهای ارتقای آن با تکیه بر شواهد تجربی و تحلیل کیفی است. با توجه به نقش حیاتی ایمنی حریق در پایداری شهری و حفاظت از جان و مال شهروندان، این مطالعه با تمرکز بر سه بُعد کلیدی به بررسی موانع موجود پرداخته است: در بُعد ساختاری، لزوم ارتقای زیرساخت‌ها و رشد نامتوازن شهرنشینی؛ در بُعد عملکردی، به‌روزرسانی در تجهیزات، فرایندها و هماهنگی بین سازمانی؛ و در بُعد فرهنگی - اجتماعی، لزوم ارتقای سطح آگاهی عمومی و مشارکت شهروندان در رعایت اصول ایمنی. یافته‌ها بیانگر آن است که این چالش‌ها به صورت سیستماتیک بر کارایی مدیریت ایمنی حریق در تهران تأثیرگذارند. در پاسخ به این موانع، سه دسته راهبرد پیشنهاد می‌شود: (۱) راهبردهای پیشگیرانه شامل اصلاح مقررات، بهبود نظام‌های بازرسی و ارتقای فرهنگ ایمنی؛ (۲) راهبردهای واکنشی و تاب‌آورانه از جمله تقویت توان عملیاتی نهادهای ذی‌ربط و توسعه زیرساخت‌های امداد و نجات؛ و (۳) راهبردهای نهادی - مدیریتی نظیر ایجاد نهاد مرکزی متولی ایمنی، تخصیص کارآمد منابع و ارتقای حکمرانی یکپارچه. تحقق اثربخش این راهبردها مستلزم مشارکت فعال کلیه ذی‌نفعان و تدوین سیاست‌های هم‌افزا برای ارتقای تاب‌آوری شهری در برابر سوانح آتش‌سوزی است.

استناد: محمدی، قدرت‌الله؛ عبدولی، کامران و بهرامی، وحید (۱۴۰۴). مدیریت ایمنی حریق و راهبردهای ارتقای آن در کلان شهر تهران: مطالعه‌ای پیرامون چالش‌های ساختاری، عملکردی و فرهنگی. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۲ (۴) ۵۱۱-۵۲۵.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.517687.1034>

© قدرت‌الله محمدی، کامران عبدولی، وحید بهرامی

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.517687.1034>



۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر، کلان‌شهر تهران با گسترش شتابان جمعیتی، توسعه کالبدی و تمرکز فعالیت‌های اقتصادی، با چالش‌های فزاینده‌ای در حوزه ایمنی شهری مواجه شده است [۱]. در میان مخاطرات متعددی که پایداری شهری را تهدید می‌کنند، حریق یکی از خطرات پرتکرار، پرهزینه و پیچیده به شمار می‌رود که می‌تواند علاوه بر تهدید جان انسان‌ها، خسارت‌های جبران‌ناپذیری به زیرساخت‌های حیاتی وارد آورد [۲]. بررسی آمار رسمی سازمان آتش‌نشانی و خدمات ایمنی شهرداری تهران نشان می‌دهد طی بازه ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۲، سالانه به طور متوسط بیش از ۴۰ هزار مورد حادثه آتش‌سوزی و حوادث مرتبط گزارش شده که از این میان، تنها در سال ۱۴۰۱ حدود ۴۲۵۸ مورد عملیات امدادی انجام شده که به نجات جان بیش از ۴۷۰۰ نفر و متأسفانه ثبت بیش از ۱۱۰ مورد فوتی منجر شده است [۳]. این روند، همراه با رشد پیچیدگی‌های کالبدی شهر و فرسودگی بخش قابل توجهی از زیرساخت‌ها، نشان‌دهنده اهمیت پرداختن نظام‌مند به ایمنی حریق به‌مثابه یکی از مؤلفه‌های کلیدی پایداری شهری در تهران است.

با توجه به ساختار متراکم، گسترش بافت‌های فرسوده، رشد نامتوازن شهری و لزوم ارتقای فرهنگ پیشگیری از مخاطرات حریق، تهران شهری آسیب‌پذیر در برابر حوادث آتش‌سوزی تلقی می‌شود. مطالعات مختلف نشان می‌دهند نظام ایمنی حریق در ایران، به‌ویژه در کلان‌شهرها، با موانع ساختاری و عملکردی متعددی مواجه است؛ از جمله کمبود استانداردهای فنی روزآمد، ضعف در آموزش‌های همگانی و نبود انسجام نهادی [۴]. تجربیات بین‌المللی نیز بیانگر آن است که شهرهایی همچون کیوتو در ژاپن [۵] و سائوپائولو در برزیل، با اتخاذ سیاست‌های چندسطحی و تقویت مشارکت در حوزه ایمنی حریق، موفق به کاهش مخاطرات و ارتقای سطح تاب‌آوری شهری شده‌اند [۶].

تهران، افزون بر چالش‌های کالبدی همچون بافت‌های فرسوده و ساختمان‌های بلندمرتبه فاقد سامانه‌های ایمنی مؤثر، با چالش‌های زیرساختی نظیر ترافیک سنگین، تأخیر در امداد رسانی و ناهماهنگی نهادی نیز روبه‌روست [۷]. همچنین، فضاهای زیرسطحی، مانند ایستگاه‌های مترو که به دلیل تهویه ناکافی و محدودیت‌های دسترسی در شرایط اضطراری، در صورت بروز حریق به شدت خطرناک تلقی می‌شوند، نیازمند توجه ویژه‌اند [۸]. از سوی دیگر، پژوهش‌ها نشان می‌دهند برخی کاربری‌های نایمن شهری - مانند تبدیل غیرمجاز واحدهای مسکونی به انبار یا کارگاه - سهم قابل توجهی در افزایش ریسک حریق دارند [۹]. در کنار عوامل فنی، بُعد فرهنگی ایمنی نیز در وضعیت نامطلوبی قرار دارد. بر پایه یافته‌های پژوهشگران، سطح آگاهی عمومی درباره اصول پیشگیری از حریق در تهران پایین است و فرهنگ ایمنی هنوز به عنوان یک ارزش اجتماعی نهادینه نشده است [۹].

با توجه به این مجموعه چالش‌ها، پژوهش حاضر در صدد است تا از طریق دسته‌بندی نظام‌مند با بهره‌گیری از روش تحقیق کیفی و راهبرد مطالعه موردی با رویکرد تفسیری و با انجام مصاحبه‌های عمیق نیمه‌ساختاریافته با خبرگان حوزه ایمنی شهری، موانع موجود در سه سطح ساختاری، عملکردی و فرهنگی - اجتماعی، تصویری روشن از وضعیت مدیریت ایمنی حریق در تهران ارائه دهد و زمینه‌ساز تدوین راهبردهایی کاربردی و مبتنی بر شواهد شود. این مطالعه در پاسخ به پرسش‌هایی نظیر «مهم‌ترین چالش‌های ایمنی حریق در تهران کدام‌اند؟» و «چه راهکارهایی می‌توان برای ارتقای تاب‌آوری در برابر حریق پیشنهاد داد؟» انجام گرفته و می‌کوشد بستری برای تصمیم‌سازی علمی در عرصه سیاست‌گذاری ایمنی شهری فراهم سازد.

۲. مرور ادبیات و پیشینه تحقیق

مطالعه ادبیات نظری و تجربی در زمینه ایمنی حریق شهری نشان می‌دهد این حوزه، به‌ویژه در کلان‌شهرها، دارای ماهیتی چندبعدی و نیازمند تحلیل در سطوح مختلف کالبدی، نهادی، عملکردی و فرهنگی است. پژوهش‌های بین‌المللی و داخلی متعددی تلاش کرده‌اند هر یک از این ابعاد را بررسی کنند، اما پژوهش‌هایی که به صورت یکپارچه این سطوح را تحلیل کرده باشند، محدودند.

در سطح جهانی، مطالعات متعددی به بررسی چالش‌های ایمنی حریق در بسترهای شهری پرداخته‌اند. تاناکا و همکاران در سال (۲۰۲۱) با تمرکز بر شهر کیوتو، به آسیب‌پذیری بافت‌های تاریخی و پرتراکم پرداخته و بر ضرورت به‌کارگیری تجهیزات

خاص برای این مناطق تأکید کرده‌اند [۱۰]. سیلوا و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای درباره‌ی شهر سائوپائولو، نقش ترافیک شهری در ایجاد تأخیر در واکنش اضطراری را تحلیل کرده و بر لزوم اصلاح زیرساخت‌های حمل‌ونقل شهری تأکید کرده‌اند [۱]. آلتون و همکاران (۲۰۲۰) با تبیین رویکرد Zero Vision، اهمیت تدوین سیاست‌های پیشگیرانه و آموزش عمومی را به عنوان مؤلفه‌های کلیدی در ارتقای ایمنی شهری برجسته ساخته‌اند [۱۲]. همچنین، ایوانو و همکاران (۲۰۲۱) نقش فناوری‌های نوین، به‌ویژه اینترنت اشیا (IoT)، را در کاهش ریسک و مدیریت هوشمند حریق مؤثر ارزیابی کرده‌اند [۱۳].

در مطالعات داخلی نیز تمرکز بر جنبه‌های فنی و فرهنگی ایمنی حریق در حال افزایش است. حاتمی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی به ضعف سامانه‌های هشداردهنده در نظام مدیریت بحران شهری اشاره کرده‌اند [۱۴]. ابراهیم‌پور و همکاران (۱۴۰۰) کارایی حسگرهای هوشمند را در شناسایی به‌هنگام حریق بررسی و آن را عاملی مؤثر در کاهش خسارات اولیه برشمرده‌اند [۱۵]. قاسمی و همکاران (۱۴۰۲) به یکی از چالش‌های اساسی، یعنی ضعف فرهنگ ایمنی عمومی در بافت‌های شهری تهران، پرداخته‌اند [۱۶]. همچنین، فرخ‌نیا و همکاران (۱۳۹۷) با اتکا بر یافته‌های پژوهشکده مدیریت بحران دانشگاه تهران، کمبود تجهیزات تخصصی و نبود هماهنگی نهادی را از چالش‌های اصلی ایمنی حریق در کلان‌شهرها معرفی کرده‌اند [۱۷].

جدول ۱. مرور تطبیقی پژوهش‌های بین‌المللی

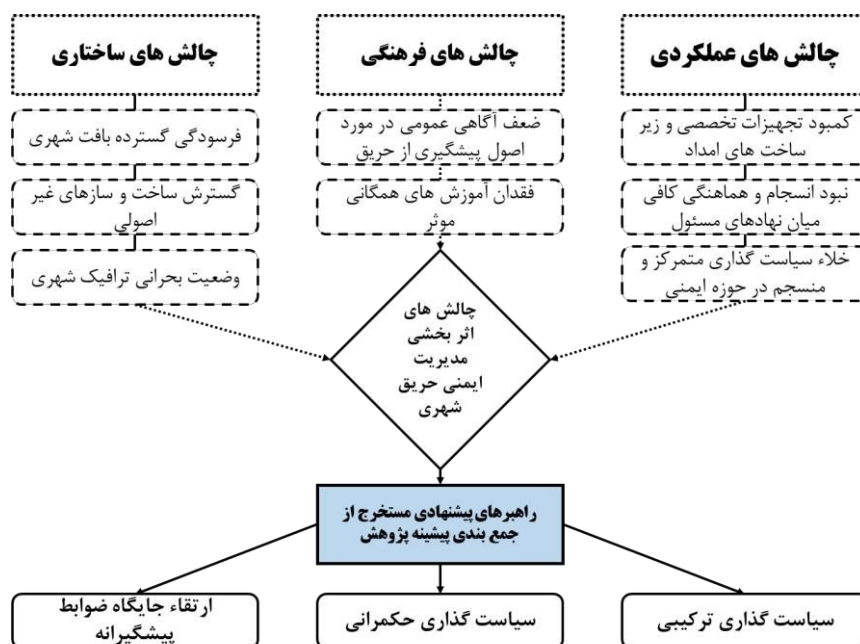
ردیف	اهمیت برای تحقیق حاضر	یافته‌ها	محدوده جغرافیایی	پژوهشگر / سال
۱	معادل‌سازی با بازار تهران	لزوم حفاظت خاص از مناطق تاریخی و پیچیده	کیوتو، ژاپن	ناناکا و همکاران (۲۰۲۱) [۱۱]
۳	چالش ترافیک تهران	تأثیر ترافیک بر عملکرد آتش‌نشانی	سائوپائولو، برزیل	سیلوا و همکاران (۲۰۱۹) [۱۲]
۳	الگوی برای نوسازی سامانه‌ها در تهران	کارکرد اینترنت اشیا در مدیریت ریسک شهری	اروپا	ایوانو و همکاران (۲۰۲۱) [۱۴]
۴	پایه‌ای برای رویکرد فرهنگی پژوهش حاضر	استراتژی‌های مبتنی بر آموزش و پیشگیری	اروپا	آلتون و همکاران (۲۰۲۰) [۱۳]

جدول ۲. مرور تطبیقی پژوهش‌های داخلی

ردیف	کاربرد در تحقیق حاضر	مهم‌ترین یافته‌ها	موضوع مطالعه	پژوهشگر / سال
۱	تحلیل ساختاری	ضعف سامانه هشدار، عدم انسجام نهادها	مدیریت بحران شهری	حاتمی (۱۳۹۸)
۲	تحلیل عملکردی	شناسایی سریع و دقیق نقاط حریق با حسگرها	اینترنت اشیا در ایمنی شهری	ابراهیم‌پور (۱۴۰۰)
۳	تحلیل فرهنگی	سطح پایین آگاهی، نبود فرهنگ واکنش مناسب	فرهنگ ایمنی و مشارکت شهروندی	قاسمی (۱۴۰۲)
۴	ارائه سیاست نهادی و مدیریتی	کمبود منابع، ضعف هماهنگی، تمرکزگرایی	سازمان آتش‌نشانی تهران	فرخ‌نیا و همکاران (۱۳۹۷)

مطابق با چارچوب مفهومی ترسیم‌شده در شکل ۱، پژوهش حاضر با تمرکز بر کلان‌شهر تهران، سه دسته چالش اصلی را که بر اثربخشی سامانه مدیریت ایمنی حریق تأثیرگذارند، شناسایی و تحلیل می‌کند. این چالش‌ها شامل چالش‌های ساختاری، نظیر فرسودگی گسترده بافت‌های شهری، گسترش ساخت‌وسازهای غیراصولی بدون رعایت ضوابط ایمنی، و وضعیت بحرانی ترافیک شهری که موجب تأخیر در واکنش اضطراری می‌شود؛ چالش‌های عملکردی از جمله کمبود تجهیزات تخصصی و زیرساخت‌های امداد و نجات، نبود انسجام و هماهنگی کافی میان نهادهای مسئول، و خلأ سیاست‌گذاری متمرکز و منسجم در حوزه ایمنی حریق؛ و چالش‌های فرهنگی - اجتماعی که شامل ضعف آگاهی عمومی درباره اصول پیشگیری و مقابله با حریق، فقدان آموزش‌های همگانی مؤثر، و مشارکت ناکافی شهروندان در فرایندهای ایمنی شهری می‌شود.

در مجموع، این چالش‌های سه‌گانه با اثرگذاری متقابل و تقویت‌کننده، به کاهش محسوس در اثربخشی کلی سامانه ایمنی حریق در سطح شهر تهران منجر شده‌اند. بر این اساس، پژوهش پیشنهاد می‌کند که برای مقابله مؤثر با این وضعیت، طراحی و اجرای راهبردهای مداخله‌گرایانه سیاست‌گذارانه با رویکردی ترکیبی و در سه محور کلیدی شامل پیشگیری از وقوع حریق، بهبود واکنش اضطراری در زمان بروز حادثه، و تقویت حکمرانی یکپارچه و کارآمد در مدیریت ایمنی شهری، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.



شکل ۱. مدل مفهومی برگرفته از مطالعات پیشینه پژوهش

بررسی جامع ادبیات پژوهش، شامل مطالعات داخلی و بین‌المللی، نمایانگر آن است که غالب تحقیقات صورت‌گرفته در حوزه ایمنی حریق، عمدتاً رویکردی تک‌ساحتی اتخاذ کرده‌اند. به این ترتیب که شماری از پژوهش‌ها، کانون توجه خود را فقط بر جنبه‌های فناورانه معطوف داشته‌اند، در حالی که دسته‌ای دیگر، بر اهمیت آموزش و یا چالش‌های سازمانی مرتبط با مدیریت ایمنی حریق تأکید ورزیده‌اند. در زمینه مطالعات انجام‌شده در ایران نیز اغلب پژوهش‌ها ماهیتی موردی و غیر منسجم داشته و فاقد یکپارچگی در تحلیل ابعاد ساختاری، عملکردی و فرهنگی مرتبط با موضوع بوده‌اند. در مقابل، پژوهش حاضر با اتخاذ یک رویکرد تلفیقی و نظام‌مند، در صدد پر کردن این خلأ پژوهشی است. نوآوری اساسی این مطالعه در بررسی هم‌زمان و کیفی چالش‌های مدیریت ایمنی حریق در سه سطح متمایز ساختاری، عملکردی و فرهنگی در بستر کلان‌شهر تهران نهفته است. هدف غایی این پژوهش، ارائه راهکارهای سیاستی مبتنی بر یافته‌های حاصل از تحلیل داده‌های کیفی است که به طور مستقیم به شکاف‌های موجود در دانش علمی این حوزه پاسخ می‌دهد و می‌تواند مبنایی برای اقدامات مؤثر در راستای ارتقای ایمنی حریق در محیط‌های شهری پیچیده فراهم آورد.

۳. روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نوع کیفی - کاربردی و مبتنی بر رویکرد تفسیری^۱ است. اتخاذ این رویکرد به دلیل ماهیت پیچیده، چندلایه و انسانی مسئله مورد مطالعه (یعنی ایمنی حریق در کلان‌شهر تهران) و لزوم تحلیل دقیق زمینه‌های اجتماعی، نهادی و ساختاری مرتبط با آن بوده است. با اتخاذ رویکرد تفسیری، پژوهشگر می‌کوشد به جای تعمیم آماری، به درکی عمیق از معانی، تجارب زیسته، تعاملات و فرایندهای اجتماعی پنهان دست یابد [۱۸]. به منظور تحلیل واقع‌گرایانه چالش‌های ایمنی حریق در تهران، از راهبرد مطالعه موردی کیفی استفاده شد. این راهبرد امکان بررسی یک پدیده در بستر واقعی آن، با استفاده از داده‌های غنی و چندمنبعی را فراهم می‌کند. تمرکز اصلی بر درک روابط پیچیده میان ساختارهای شهری، عملکرد سازمانی و رفتار اجتماعی در زمینه ایمنی حریق بود. این استراتژی با رویکرد پژوهش‌های «زمینه‌مند» هم‌خوانی دارد و با تحلیل کیفی منطبق است [۱۹].

جامعه آماری این پژوهش را مدیران، کارشناسان، تصمیم‌گیران، متخصصان حوزه ایمنی و مدیریت بحران، مسئولان سازمان آتش‌نشانی، و اعضای شورای اسلامی شهر تهران تشکیل می‌دادند. در مجموع، ۲۴ نفر در این مطالعه مشارکت داشتند که از این میان،

۷ نفر زن و ۱۷ نفر مرد بودند. میانگین سابقه فعالیت حرفه‌ای مشارکت‌کنندگان ۱۸/۶ سال بود. زمینه‌های تخصصی آن‌ها نیز طیفی از حوزه‌های مرتبط با ایمنی شهری، مدیریت بحران، برنامه‌ریزی شهری، جامعه‌شناسی شهری و آموزش همگانی را در بر می‌گرفت.

جدول ۳. دموگرافیک مشارکت‌کنندگان در مطالعه

تعداد	جنسیت	رده سنی	تخصص شغلی	سابقه فعالیت (سال)	جایگاه سازمانی/نقش
۱۴	مرد	۴۵-۵۰	ایمنی شهری	۲۵	مدیران ارشد سازمان آتش‌نشانی
۴	زن	۳۵-۴۰	مدیریت بحران	۱۲	کارشناسان ارشد ستاد بحران
۱	زن	۴۰-۴۵	برنامه‌ریزی شهری	۱۸	عضو کمیته تخصصی شورای شهر
۲	مرد	۳۰-۳۵	ساخت‌وساز شهری	۱۰	بازرس ایمنی در شهرداری منطقه
۲	زن	۵۰-۵۵	روان‌شناسی اجتماعی	۲۸	مشاوران آموزش همگانی ایمنی
۱	مرد	۵۵-۶۰	ایمنی و آتش‌نشانی	۳۰	مشاور ارشد سازمان آتش‌نشانی

روش نمونه‌گیری به صورت هدفمند از نوع گلوله برفی^۱ انجام شد؛ به این صورت که پس از شناسایی نمونه‌های اولیه از طریق شاخص‌های تخصص، تجربه و اشراف سازمانی، مصاحبه‌شوندگان بعدی با توصیه مشارکت‌کنندگان قبلی شناسایی شدند.

معیارهای ورود به مطالعه شامل موارد زیر بود:

۱. سابقه فعالیت حرفه‌ای بیش از پنج سال در حوزه مرتبط با ایمنی شهری یا مدیریت بحران؛
۲. شناخت مستقیم از وضعیت زیرساخت‌ها و سازوکارهای امدادی در تهران؛
۳. تجربه عملی در مواجهه با حوادث آتش‌سوزی شهری یا تدوین مقررات ایمنی.

در مجموع، ۲۴ مصاحبه عمیق نیمه‌ساختاریافته انجام شد که کفایت نظری داده‌ها را تأمین کرد. اصل «اشباع نظری»^۲ رعایت شد؛ یعنی داده‌های جدید پس از نقطه‌ای، به مضامین تازه‌ای منجر نمی‌شدند. برای گردآوری داده‌ها از دو منبع اصلی استفاده شد: الف) مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته عمیق: سؤالات مصاحبه بر اساس مبانی نظری و اهداف پژوهش طراحی شدند و با رویکرد باز^۳ مطرح شدند. مصاحبه‌ها بین ۴۵ تا ۹۰ دقیقه طول کشیدند و در مکان‌هایی آرام و مورد توافق انجام شدند. سؤالات باز مطرح‌شده عبارت‌اند از:

- چه عواملی را در ناکارآمدی فعلی سامانه ایمنی حریق مؤثر می‌دانید؟
 - قوت‌ها و ضعف‌های پاسخ‌های اضطراری آتش‌نشانی در تهران چیست؟
 - چه تغییراتی در نگرش یا مشارکت شهروندان در دهه اخیر مشاهده کرده‌اید؟
 - به نظر شما مهم‌ترین ضعف‌های نهادی در پاسخ به حریق‌های شهری چیست؟
 - چه عواملی موجب تأخیر در واکنش اضطراری می‌شود؟
 - آموزش ایمنی در بین شهروندان را چگونه ارزیابی می‌کنید؟
- ب) اسناد و داده‌های تخصصی: شامل تحلیل مقررات ملی، اسناد طرح تفصیلی، گزارش‌های سازمان آتش‌نشانی تهران، آیین‌نامه‌های ساخت‌وساز، و مقالات علمی داخلی و بین‌المللی در حوزه ایمنی شهری.
- تحلیل داده‌ها در سه‌گام متوالی با روش تحلیل کدگذاری سیستماتیک انجام شد که با الگوی Strauss^۴ در روش داده‌بنیان^۴ هماهنگ است [۲۰].

- کدگذاری باز:^۵ استخراج مفاهیم اولیه از روی متن مصاحبه‌ها. در این مرحله بیش از ۱۴۰ کد اولیه تولید شد.
- کدگذاری محوری^۶: گروه‌بندی کدها در ۱۲ مقوله میانی بر اساس شباهت معنایی، روابط علی و زمینه‌ای.

1. Snowball Sampling
 2. Theoretical Saturation
 3. Open-Ended
 4. Grounded Theory
 5. Open Coding
 6. Axial Coding

- کدگذاری انتخابی^۱: ادغام مقولات و شکل‌گیری سه مضمون کلان (چالش‌های ساختاری، عملکردی، فرهنگی). به منظور ارتقای دقت، غنای تحلیلی و اعتبارسنجی یافته‌های کیفی، از دو نرم‌افزار مکمل NVivo 14 و MaxQDA 2022 استفاده از این دو ابزار به دلیل تفاوت در قابلیت‌های تحلیلی آن‌ها انجام گرفت. MaxQDA با ارائه امکانات پیشرفته در نگاشت مفهومی، تحلیل درون‌متنی و ترسیم ماتریس‌های مقایسه‌ای، امکان استخراج الگوهای ذهنی مشارکت‌کنندگان را فراهم کرد؛ در حالی که NVivo با توانمندی در تحلیل هم‌زمان متون، تصویرسازی درخت کدها و خوشه‌بندی مفاهیم، به تعمیق ساختاری داده‌ها و اعتبار تقاطعی نتایج کمک کرد. استفاده ترکیبی از این دو نرم‌افزار موجب شد تا تحلیل داده‌ها با دقت بیشتر، از زوایای مختلف و با امکان تطبیق یافته‌ها به صورت روشمند انجام گیرد.
- اعتبار نتایج کیفی پژوهش با استفاده از چهار معیار پیشنهادی گوبا و همکاران (۱۹۹۴) ارزیابی شد [۲۱].
- اعتبار درونی^۲: تحلیل محتوای داده‌ها توسط دو پژوهشگر مجزا انجام شد و اختلافات با تکنیک اجماع رفع شد.
- پایایی^۳: مسیر تحلیل در قالب گزارش‌های تحلیلی و جدول‌های کدگذاری ثبت شد.
- قابلیت انتقال^۴: از نقل قول‌های مستقیم و مفصل برای نشان دادن عمق داده‌ها استفاده شد.
- تأییدپذیری^۵: دفترچه ثبت مراحل تحلیل، به عنوان سند قابل پیگیری برای بررسی مجدد در دسترس نگه داشته شد.

۴. یافته‌های پژوهش

تحلیل داده‌های حاصل از ۲۴ مصاحبه نیمه‌ساختاریافته با مدیران ارشد، متخصصان حوزه مدیریت بحران، کارشناسان شهری و اعضای شورای شهر، در کنار اسناد پشتیبان و تحلیل‌های ثانویه، سه دسته چالش کلیدی در مدیریت ایمنی حریق در کلان‌شهر تهران را برجسته ساخت: چالش‌های ساختاری، عملکردی و فرهنگی - اجتماعی. این تحلیل با بهره‌گیری از ترکیب روش‌های تحلیل محتوا، تحلیل موضوعی و مقایسه‌ای مستمر در محیط نرم‌افزارهای NVivo و MaxQDA انجام گرفت و به شناسایی بیش از ۱۴۰ کد اولیه، ۱۲ مقوله میانی و درنهایت سه مضمون کلان منجر شد. در این بخش، هر یک از این مضامین با جزئیات، مصادیق، تطبیق نظری و تحلیل مقایسه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۱. فرایند کدگذاری و استخراج مضامین

در گام اول، مصاحبه‌ها به طور خط به خط خوانده و بیش از ۱۴۰ کد اولیه استخراج شد. این کدها در گام دوم در قالب ۱۲ مقوله میانی (محوری) دسته‌بندی و درنهایت در سه مضمون کلان قرار گرفتند. نمونه‌ای از این فرایند در جدول ۴ آمده است:

جدول ۴. نمونه‌ای از فرایند کدگذاری داده‌های کیفی

مضمون نهایی	مقوله محوری	کدباز	گزاره مصاحبه‌شونده
۱ چالش ساختاری	ضعف زیرساخت شهری	دسترسی ناکافی	در برخی مناطق، خودروهای آتش‌نشانی به‌سختی می‌توانند وارد معابر و کوچه‌ها شوند.
۲ چالش عملکردی	لزوم ارتقا عملکردی	ارتقای تجهیزات	ما به ارتقا در تجهیزات برای مقابله با حریق در برج‌ها نیاز نداریم.
۳ چالش فرهنگی	کم‌توجهی شهروندان	فرهنگ ایمنی	مردم فکر می‌کنند آتش‌سوزی فقط برای دیگران اتفاق می‌افتد!

۴-۲. مضمون اول: چالش‌های ساختاری

یکی از یافته‌های مهم، لزوم به‌روزرسانی زیرساختی گسترده در مدیریت ایمنی حریق است. یافته‌ها نشان می‌دهد بافت‌های فرسوده شهری، به‌روز نبودن شبکه امداد، رشد غیراصولی ساخت‌وساز و ناکارآمدی نظام پهنه‌بندی شهری، از مهم‌ترین موانع ساختاری هستند. مهم‌ترین مؤلفه‌های چالش ساختاری از دیدگاه مشارکت‌کنندگان در جدول ۵ بیان شده است.

1. Selective Coding
2. Credibility
3. (Dependability
4. Transferability
5. Confirm ability

جدول ۵. مهم‌ترین مؤلفه‌های چالش ساختاری از دیدگاه مشارکت‌کنندگان

درصد مشارکت‌کنندگان موافق	تعداد تکرار در مصاحبه‌ها	عامل
۸۵ درصد	۱۷ مورد	فرسودگی زیرساخت شهری
۷۵ درصد	۱۵ مورد	انسداد معابر اضطراری
۶۰ درصد	۱۲ مورد	رشد بی‌برنامه ساختمان‌های بلند

این چالش در سه سطح کالبدی، فضایی و نهادی قابل تبیین است:

الف) فرسودگی بافت شهری و ناکارآمدی کالبدی

تهران با داشتن بیش از ۵ هزار هکتار بافت فرسوده، از منظر ایمنی در برابر حریق، آسیب‌پذیری مضاعفی دارد. بسیاری از این مناطق فاقد مسیرهای اضطراری، سیستم‌های تهویه مناسب، و مصالح مقاوم در برابر آتش هستند. مصاحبه‌شوندگان بارها به مثال‌هایی از عدم امکان دسترسی خودروهای آتش‌نشانی به این مناطق اشاره کرده‌اند: به عنوان مثال می‌توان به جملاتی پرتکرار نظیر (در کوچه‌هایی با عرض کمتر از ۳ متر، ورود ماشین‌های امدادی تقریباً ناممکن است) اشاره کرد.

ب) ساخت‌وساز غیراصولی و توسعه نامتوازن

رشد عمودی ساختمان‌ها در گذشته‌ای نه‌چندان دور بدون لحاظ ایمنی حریق، به‌خصوص در مناطق شمال و مرکز تهران، یکی از نقاط بحران‌زایی شناسایی شده بود. ساخت برج‌هایی فاقد سیستم شبکه بارند خودکار، درب‌های ضد حریق، پله اضطراری ایمن و تجهیزات هشدار، باعث شده سطح ریسک در این فضاها به صورت چشم‌گیری افزایش یابد. مطالعه تطبیقی با نتایج پژوهش تاناکا^۱ و همکاران (۲۰۲۱) در شهر کیوتو نیز نشان می‌دهد فقدان الزامات ایمنی در بافت‌های متراکم شهری، ریسک حریق را چند برابر می‌کند.

ج) ترافیک شهری و انسداد معابر امدادی

بر اساس گزارش سازمان حمل‌ونقل و ترافیک، میانگین زمان رسیدن آتش‌نشانان به محل حادثه در ساعت‌های اوج ترافیک تا ۲۰ دقیقه نیز گزارش شده است. این یافته در مقایسه با مطالعات سیلوا^۲ (۲۰۱۹) در سائوپائولو، تأکیدی مضاعف بر تأثیر مستقیم انسداد مسیرها در کاهش اثربخشی سامانه ایمنی دارد.

۴-۳. مضمون دوم: چالش‌های عملکردی

در سطح عملکردی، مواردی همچون لزوم به‌روزرسانی مدیریت تجهیزات، افزایش توان و هماهنگی بین سازمانی، ارتقای سطح آموزش حرفه‌ای و لزوم تأمین بودجه کافی برجسته شدند. در جدول ۶ عوامل عملکردی مؤثر بر ناکارآمدی سامانه مدیریت ایمنی حریق معرفی شده‌اند.

جدول ۶. عوامل عملکردی مؤثر بر ارتقای کارآمدی سامانه مدیریت ایمنی حریق

ردیف	نمونه مصداق از مصاحبه	شدت تأثیر (نظر خبرگان)	مؤلفه عملکردی
۱	تربیت نیروی متخصص برای برج‌ها یا بافت‌های تاریخی احتیاج است.	متوسط	کمبود منابع انسانی ماهر
۲	اطلاعات شهرداری با اورژانس در برخی موارد ناهماهنگ است.	متوسط	نبود هماهنگی بین بخشی
۳	در بعضی موارد، سامانه‌های اعلام‌خطر یا اطفای خودکار توسط شهروندان خاموش‌اند.	زیاد	ناکارآمدی سامانه‌های هشدار

الف) لزوم بهروزرسانی مدیریت تجهیزات

بسیاری از تجهیزات موجود در ایستگاه‌های آتش‌نشانی تهران نیازمند ارتقای به فناوری روز هستند. به عنوان نمونه، برخی از خیرگان اشاره داشتند برخی از ادوات هیدرولیکی امدادی برای برج‌ها فرسوده و غیرقابل استفاده‌اند.

ب) افزایش توان و هماهنگی بین سازمانی

نبود سامانه‌ای یکپارچه میان نهادهای اورژانس، آتش‌نشانی، پلیس و بیمارستان‌ها، باعث بروز دوباره‌کاری، تأخیر و سردرگمی در واکنش به حوادث می‌شود. این موضوع بارها در مصاحبه‌ها به عنوان مانعی مهم یاد شده است: محل ورود و خروج نیروها بین ما و اورژانس نیازمند هماهنگی بیشتر است.

ج) ارتقای سطح آموزش حرفه‌ای

مطالعه نشان داد در بسیاری از ایستگاه‌های آتش‌نشانی، استانداردهای آموزشی بین‌المللی همچون NFPA کمتر تأکید می‌شود. علاوه بر آن، آموزش ضمن خدمت موضوعات با رویکرد پیشگیرانه به صورت ناپیوسته و نیازمند بهروزرسانی است.

۴-۴. مضمون سوم: چالش‌های فرهنگی و اجتماعی

بر اساس یافته‌ها، ضعف فرهنگ ایمنی به عنوان ریشه‌ای‌ترین و پیچیده‌ترین مانع شناسایی شد. این چالش در سه بُعد قابل بررسی است: عدم نهادینه‌سازی فرهنگ ایمنی، بی‌توجهی شهروندان به آموزش‌ها، و گسترش بی‌توجهی هشدارهای رسمی از چالش‌های این بخش هستند. جدول ۷ پاسخ به سؤالات باز پیرامون مشارکت شهروندی را تحلیل کرده است.

جدول ۷. تحلیل پاسخ به سؤالات باز پیرامون مشارکت شهروندی

ردیف	درصد مشارکت‌کنندگان با تجربه مشابه	مضامین استخراج شده	سؤال مطرح شده در مصاحبه
۱	۷۰٪	توجه اندک به پیام‌های هشدار، باور به کنترل‌پذیری حادثه	چرا برخی مردم هشدارهای ایمنی را جدی نمی‌گیرند؟
۲	۵۰٪	نبود دانش اولیه، انتظار کمک فوری از بیرون	تجربه شخصی شما از مواجهه با حریق چگونه بوده؟

الف) سطح پایین آگاهی عمومی و تلقی غلط از خطر

بسیاری از شهروندان تهرانی تصور می‌کنند که «حادثه برای دیگران اتفاق می‌افتد»، و از همین‌رو، اقدامات پیشگیرانه را ضروری نمی‌دانند. این یافته با نتایج مطالعات آلتونن (۲۰۲۰) در اروپا نیز هم‌راستا است که بر نقش آموزش عمومی به عنوان ستون پیشگیری تأکید دارند.

ب) مشارکت محدود شهروندان در فرایندهای ایمنی

نه تنها آموزش‌های عمومی محدود و سطحی هستند، بلکه در اغلب موارد مشارکت واقعی شهروندان در تمرین‌های ایمنی و طرح‌های محله‌محور وجود ندارد. از میان ۲۴ مصاحبه‌شونده، ۷۰ درصد معتقد بودند که طرح‌های آموزش شهروندی فقط جنبه نمایشی داشته‌اند.

ج) بی‌اعتمادی به هشدارهای خطر

بی‌اعتمادی به هشدارهای رسمی، باعث شده در بسیاری از موارد مردم حتی گزارش‌های خطر را به‌موقع و زمان طلایی واکنش قبول نکنند. این شکاف ارتباطی یک حلقه معیوب ایجاد کرده است که مانع ارتقای ایمنی می‌شود.

یافته‌های این پژوهش به‌خوبی با نتایج سایر پژوهش‌های بین‌المللی هم‌راستا است. در جدول ۸، تطبیق برخی یافته‌های کلیدی با پژوهش‌های مشابه نشان داده شده است.

جدول ۸. مقایسه یافته‌های پژوهش حاضر با مطالعات بین‌المللی

ردیف	شاخص مورد مقایسه	پژوهش حاضر (تهران)	کیوتو	سائوپائولو
۱	دسترسی اضطراری	ضعیف	مشابه	نسبتاً خوب
۲	مشارکت جامعه محلی	پایین	بالا	متوسط
۳	تأثیر ترافیک	زیاد	کم	بسیار زیاد
۴	فرهنگ ایمنی	ضعیف	نهادینه شده	نسبی

داده‌های تحلیل شده نشان می‌دهد مدیریت ایمنی حریق در تهران با سه سطح چالش عمده مواجه است. ترکیب یافته‌های حاصل از مصاحبه‌ها و اسناد، تصویری نسبتاً یکپارچه از مشکلات و فرصت‌های پیش رو ارائه می‌کند که می‌تواند مبنای تدوین سیاست‌های پیشنهادی در بخش نتیجه‌گیری قرار گیرد. در پایان، به منظور جمع‌بندی و ارائه دیدگاهی جامع از یافته‌های پژوهش، جدول ۹ با عنوان «دسته‌بندی و تحلیل چالش‌های مدیریت ایمنی حریق در تهران و راهکارهای پیشنهادی» ارائه شده است. این جدول به صورت چالش‌های ساختاری، عملکردی و فرهنگی شناسایی شده را دسته‌بندی و برای هر یک، راهکارهای عملی و مشخصی را پیشنهاد می‌دهد. این بخش به خواننده کمک می‌کند تا تصویری کامل از وضعیت موجود و راهبردهای ارتقای ایمنی حریق در کلان‌شهر تهران به دست آورد.

جدول ۹. دسته‌بندی و تحلیل چالش‌های مدیریت ایمنی حریق در تهران و راهکارهای پیشنهادی

چالش	تحلیل چالش	راهکارهای پیشنهادی برخورد با هر چالش
۱ چالش‌های ساختاری مدیریت ایمنی حریق در تهران	عوامل ریشه‌دار در ساختار فیزیکی و کالبدی شهر و تأثیر آن‌ها بر آسیب‌پذیری و توانایی مقابله	تدوین و اجرای طرح‌های جامع ایمن‌سازی شهری با رویکرد پیشگیرانه. - بازنگری و به‌روزرسانی مقررات شهرسازی و ساختمانی با تأکید بر ایمنی حریق.
۲ رشد سریع شهرنشینی و گسترش بی‌رویه بافت شهری	افزایش جمعیت و مهاجرت، گسترش بدون رعایت اصول شهرسازی و ایمنی، ساخت‌وسازهای غیراصولی و افزایش آسیب‌پذیری	کنترل و هدایت توسعه شهری بر اساس طرح‌های مصوب با رعایت اصول ایمنی. - ایجاد کمربندهای سبز و فضاهای باز به عنوان حائل در برابر گسترش حریق. - الزام به رعایت استانداردهای ایمنی در تمامی ساخت‌وسازها.
۳ بافت‌های فرسوده و ناپایدار شهری	گستره وسیع بافت‌های قدیمی با مصالح غیراستاندارد، شبکه‌های تأسیساتی فرسوده، کوچه‌های تنگ و تراکم بالا و آسیب‌پذیری شدید در برابر حریق	اجرای برنامه‌های نوسازی و بهسازی بافت‌های فرسوده با اولویت ایمنی حریق. - مقاوم‌سازی ساختمان‌های موجود در برابر حریق با ارائه تسهیلات. - ایجاد دسترسی‌های مناسب برای خودروهای امدادی.
۴ ویژگی‌های آسیب‌پذیری بافت‌های فرسوده شهری تهران در برابر حریق	عرض کم معابر، تراکم ساختمانی بالا، استفاده از مصالح غیراستاندارد، شبکه‌های تأسیساتی قدیمی، عدم رعایت اصول ایمنی در ساخت‌وساز و پیامدهای ایمنی حریق هرکدام	تعریض معابر اصلی و ایجاد مسیرهای دسترسی اضطراری. - کاهش تراکم ساختمانی در صورت امکان و تشویق به ساخت‌وساز اصولی. - الزام به استفاده از مصالح مقاوم در برابر حریق و نوسازی شبکه‌های تأسیساتی. - نظارت دقیق بر ساخت‌وسازها و برخورد با تخلفات ایمنی.
۵ بافت بازار بزرگ تهران	قدمت، ساختار پیچیده، تراکم تجاری، انبارهای مواد قابل اشتعال، شبکه‌های درهم‌تنیده، دسترسی محدود و آسیب‌پذیری بسیار بالا	تدوین و اجرای طرح ویژه ایمنی برای بازار با مشارکت کسبه و نهادهای مربوطه. - ایجاد سیستم‌های اعلام و اطفای حریق موضعی و مرکزی. - ساماندهی انبارها و مواد قابل اشتعال با رعایت اصول ایمنی. - ایجاد مسیرهای دسترسی و خروج اضطراری مشخص و ایمن.
۶ ساختمان‌های بلندمرتبه	گسترش ساخت‌وساز، پیچیدگی معماری و تأسیساتی، نیاز به تجهیزات و راهبردهای متفاوت، عدم رعایت استانداردها و محدودیت دسترسی	الزام به رعایت دقیق مبحث سوم مقررات ملی ساختمان و استانداردهای بین‌المللی. - نصب و نگهداری سیستم‌های اعلام و اطفای حریق خودکار و مناسب. - طراحی و ایجاد مسیرهای خروج اضطراری کافی و ایمن. - تأمین تجهیزات تخصصی آتش‌نشانی برای ساختمان‌های بلندمرتبه.
۷ چالش‌های ایمنی حریق در ساختمان‌های بلندمرتبه	پیچیدگی‌های معماری و تأسیساتی، نیاز به تجهیزات تخصصی، راهکارهای تخلیه پیچیده، محدودیت دسترسی و ضرورت آموزش تخصصی	طراحی‌های ایمن و مقاوم در برابر حریق با در نظر گرفتن سیستم‌های تهویه و مدیریت دود. - تأمین نردبان‌ها و خودروهای آتش‌نشانی با ارتفاع مناسب. - طراحی سناریوهای تخلیه اضطراری و برگزاری مانورهای دوره‌ای. - آموزش تخصصی نیروهای آتش‌نشانی برای مقابله با حریق در ارتفاع.

ادامه جدول ۹.

چالش	تحلیل چالش	راهکارهای پیشنهادی برخورد با هر چالش
۸ ترافیک و حمل و نقل شهری	ترافیک سنگین و گره‌های کور، مانع جدی بر سر راه عملیات امداد و نجات و اطفای حریق و تأخیر در رسیدن نیروها	ایجاد مسیرهای ویژه و اضطراری برای خودروهای امدادی. - استفاده از وسایل نقلیه سبک و سریع در مواقع بحرانی. - هماهنگی مؤثر با سازمان‌های راهنمایی و رانندگی برای تسهیل عبور خودروهای امدادی. - مدیریت هوشمند ترافیک و اطلاع‌رسانی به موقع.
۹ حریق در فضاهای زیرسطحی شهری	گسترش مترو و تونل‌ها، محدودیت دسترسی، تهویه نامناسب، تجهیزات پیچیده و خطرناک بودن در صورت وقوع حریق	طراحی و اجرای سیستم‌های ایمنی پیشرفته شامل اعلام و اطفای حریق خودکار. - ایجاد سیستم‌های تهویه اضطراری و مدیریت دود کارآمد. - تأمین تجهیزات تخصصی امداد و نجات در فضاهای زیرزمینی. - آموزش تخصصی نیروهای امدادی برای عملیات در این محیط‌ها.
۱۰ چالش‌های ایمنی حریق در فضاهای زیرسطحی شهری تهران	محدودیت‌های دسترسی، تهویه نامناسب، تجهیزات پیچیده، تجمع زیاد افراد، نیاز به تجهیزات تخصصی و اهمیت سیستم‌های اعلام و اطفای خودکار	ایجاد ورودی‌ها و خروجی‌های اضطراری کافی و مناسب. - نصب سیستم‌های تهویه قوی و کارآمد. - استفاده از تجهیزات مقاوم در برابر شرایط زیرزمینی. - برنامه‌ریزی دقیق برای تخلیه اضطراری و مدیریت جمعیت. - نصب سیستم‌های اعلام و اطفای حریق خودکار و قابل اعتماد.
۱۱ کاربری‌های نایمن ساختمانی	تغییر کاربری‌های غیرمجاز و عدم رعایت ایمنی در کاربری‌های موجود و افزایش خطر حریق	تشدید نظارت بر تغییر کاربری‌ها و برخورد قاطع با تخلفات. - الزام به رعایت الزامات ایمنی متناسب با نوع کاربری. - بازرسی دوره‌ای از ساختمان‌ها با کاربری‌های پرخطر.
۱۲ مواجهه با تغییرات نایمن ساختمان‌ها	تغییرات ساختاری و تأسیساتی بدون مجوز و رعایت ایمنی و کاهش سطح ایمنی ساختمان	تشدید نظارت بر ساخت‌وسازها و تغییرات اعمال شده. - الزام به اخذ مجوز برای هرگونه تغییرات اساسی. - اطلاع‌رسانی به شهروندان در مورد خطرات تغییرات غیراصولی.
۱۳ چالش‌های عملکردی مدیریت ایمنی حریق در تهران	عوامل مرتبط با نحوه عملکرد سازمان‌ها، هماهنگی، فرآیندهای اجرایی و استفاده از منابع	تدوین و اجرای برنامه‌های جامع ارتقای عملکرد سازمان‌های مسئول. - ایجاد سازوکارهای هماهنگی مؤثر و شفاف بین سازمان‌ها. - بهینه‌سازی فرآیندهای اجرایی و استفاده کارآمد از منابع.
۱۴ اولویت‌بخشی به ارتقای تجهیزات پیشرفته برای نیروهای امداد و نجات و آتش‌نشانی	نیاز به سرمایه‌گذاری مستمر در تجهیزات به‌روز و متناسب با نیازهای تهران	تخصیص بودجه کافی و پایدار برای خرید و نگهداری تجهیزات پیشرفته. - به‌روزرسانی ناوگان خودرویی و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین. - انطباق تجهیزات با نیازهای خاص تهران (بلندمرتبه، زیرسطحی و غیره).
۱۵ نمونه‌هایی از تجهیزات به‌روز مورد نیاز سازمان‌های آتش‌نشانی در سطح جهان	نردبان‌های بلندمرتبه، خودروهای با ظرفیت بالا، تجهیزات تنفسی پیشرفته، دوربین‌های حرارتی، ربات‌های آتش‌نشان و سیستم‌های ارتباطی پیشرفته	شناسایی و اولویت‌بندی نیازهای تجهیزاتی بر اساس ریسک‌های موجود. - تأمین تجهیزات استاندارد و باکیفیت از طریق مناقصات شفاف. - آموزش نیروها برای استفاده صحیح و نگهداری از تجهیزات.
۱۶ تقویت هماهنگی بین سازمان‌ها و نهادهای مسئول	ضرورت همکاری مؤثر بین سازمان‌های مختلف و استقرار پروتکل‌های مشترک	برگزاری جلسات مشترک و تدوین پروتکل‌های عملیاتی هماهنگ. - ایجاد مراکز فرماندهی مشترک در مواقع بحرانی. - تعریف دقیق وظایف و مسئولیت‌های هر سازمان. - استفاده از سیستم‌های ارتباطی یکپارچه.
۱۷ ارتقای آموزش و توسعه نیروی انسانی متخصص	ارتباط بهبود عملکرد با ارتقای سطح آموزش و تخصص نیروها	تدوین برنامه‌های آموزشی جامع و تخصصی برای نیروهای امدادی. - برگزاری دوره‌های آموزشی منظم و به‌روزرسانی دانش و مهارت‌ها. - تبادل تجربیات با سازمان‌های آتش‌نشانی پیشرو در سطح جهان. - ایجاد نظام ارزیابی عملکرد و تشویق نیروهای کارآمد.
۱۸ تقویت نظام بازرسی و نظارت بر ایمنی ساختمان‌ها	اهمیت تقویت نظارت برای حصول اطمینان از رعایت مقررات و کاهش ساختمان‌های نایمن	افزایش تعداد بازرسان متخصص و آموزش دیده. - استفاده از فناوری‌های نوین در فرآیند بازرسی. - تدوین فرآیندهای بازرسی استاندارد و مدون. - اعمال ضمانت‌های اجرایی قوی برای تخلفات ایمنی.
۱۹ فرصت‌های مدیریت بودجه و تخصیص منابع	ارتقای ایمنی حریق از طریق تأمین بودجه کافی و تخصیص هوشمندانه	تخصیص بودجه کافی و پایدار به حوزه ایمنی حریق. - اولویت‌بندی پروژه‌ها و طرح‌های ارتقای ایمنی بر اساس میزان ریسک و اثربخشی. - استفاده بهینه و شفاف از منابع مالی. - جذب سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در حوزه ایمنی.
۲۰ چالش‌های فرهنگی و اجتماعی مدیریت ایمنی حریق در تهران	نگرش‌ها، باورها، رفتارها و سطح آگاهی عمومی و تأثیر بر پیشگیری و همکاری	اجرای برنامه‌های جامع ارتقای فرهنگ ایمنی در سطح جامعه. - استفاده از رسانه‌های مختلف برای اطلاع‌رسانی و آموزش. - مشارکت سازمان‌های مردم‌نهاد و فعالان اجتماعی.

ادامه جدول ۹.

چالش	تحلیل چالش	راهکارهای پیشنهادی برخورد با هر چالش
۲۱	پایین بودن سطح آگاهی عمومی در مورد ایمنی حریق	چالش اساسی و پیچیده با ابعاد مختلف رفتاری و نگرشی
۲۲	عدم شناخت کافی از خطرات حریق	عدم آگاهی از طیف گسترده خطرات، شدت و پیامدها و رفتارهای پرخطر ناشی از آن
۲۳	عدم آشنایی با راه‌های پیشگیری از حریق	عدم آگاهی از روش‌های ساده و مؤثر پیشگیری در منازل، محل کار و فضاهای عمومی
۲۴	عدم مهارت در استفاده از وسایل ایمنی	فقدان مهارت و دانش کافی برای استفاده صحیح و به‌موقع از وسایل ایمنی
۲۵	عدم آگاهی از رفتارهای صحیح هنگام وقوع حریق	پایین بودن سطح آگاهی در مورد واکنش صحیح و سریع و رفتارهای نادرست

۵. نتیجه‌گیری

ایمنی حریق در کلان‌شهر تهران، تنها یک مسئله فنی یا سازمانی نیست؛ بلکه چالشی پیچیده و چندلایه با ابعاد ساختاری، عملکردی و فرهنگی - اجتماعی به شمار می‌رود که نیازمند بازنگری اساسی در سیاست‌گذاری ایمنی شهری است. پژوهش حاضر با اتخاذ رویکردی کیفی، تفسیری و چندسطحی، کوشیده است تصویری جامع، واقع‌گرایانه و مبتنی بر داده‌های تجربی از وضعیت موجود و مسیرهای بهبود ارائه دهد.

تحلیل داده‌های گردآوری‌شده نشان داد مدیریت ایمنی حریق در تهران با سه سطح اصلی از چالش‌ها مواجه است:

چالش‌های ساختاری: زیرساخت‌های فرسوده، بافت‌های متراکم فاقد دسترسی اضطراری مناسب، و عدم انطباق طراحی شهری با استانداردهای ایمنی از مهم‌ترین ضعف‌های ساختاری‌اند. بیش از ۷۵ درصد پاسخ‌دهندگان فرسودگی زیرساخت‌ها را به عنوان مهم‌ترین مانع واکنش مؤثر در برابر حریق معرفی کردند.

چالش‌های عملکردی: فرسودگی تجهیزات، ناکارآمدی سامانه‌های هشدار، کمبود آموزش‌های عملیاتی و ناهماهنگی بین‌سازمانی، از مصادیق ضعف عملکردی‌اند. نمونه‌های آشکاری از این موارد در رخدادهایی همچون آتش‌سوزی پلاسکو یا بازار تهران مشاهده شده است.

چالش‌های فرهنگی - اجتماعی: نبود فرهنگ ایمنی، بی‌اعتمادی به هشدارهای رسمی، و مشارکت اندک عمومی در اقدامات پیشگیرانه، ابعاد اجتماعی این مسئله را برجسته می‌سازند. بیش از ۷۰ درصد مشارکت‌کنندگان بر این باور بودند که آموزش‌های ایمنی توسط شهروندان جدی گرفته نمی‌شود.

در فرایند تحلیل، سه فرضیه تلویحی مورد آزمون قرار گرفت:

- ضعف ساختاری به‌تنهایی کافی برای ناکارآمدی نیست، مگر در تعامل با عوامل عملکردی (این فرض تأیید شد؛ زیرا حتی در مناطقی با زیرساخت مناسب، در صورت ناهماهنگی نهادی یا ضعف سامانه هشدار، کارایی به‌شدت کاهش می‌یابد).
- سطح آگاهی و مشارکت شهروندان نقش مؤثری در کاهش ریسک حریق ایفا می‌کند (این فرض نیز تأیید شد. محلاتی با سابقه مشارکت در طرح‌های ایمنی، واکنشی سریع‌تر و منسجم‌تر از خود نشان دادند).
- تقویت تجهیزات آتش‌نشانی بدون اصلاح حکمرانی نهادی ناکافی خواهد بود. (یافته‌ها نشان دادند اثربخشی اقدامات فنی، مشروط به اصلاحات ساختاری، مدیریتی و نرم‌افزاری است.)

مقایسه با پیشینه پژوهشی نشان داد یافته‌های حاضر با مطالعات داخلی و بین‌المللی هم‌راستا هستند: از جمله پژوهش تاناکا و همکاران در کیوتو در زمینه ایمنی در بافت‌های متراکم، مطالعه سیلوا درباره تأثیر ترافیک بر واکنش اضطراری، و تحقیق آلتون در اهمیت آموزش و فرهنگ‌سازی. در سطح ملی نیز، نتایج با مطالعات حاتمی (۱۳۹۸) درباره ضعف نهادی، ابراهیم‌پور (۱۴۰۰) درباره زیرساخت‌های فناورانه، و قاسمی (۱۴۰۲) درباره مشارکت اجتماعی همخوانی دارد. بر اساس این تحلیل چندسطحی، مجموعه‌ای از پیشنهادهای عملی برای بهبود وضعیت موجود ارائه می‌شود:

الف. در سطح ساختاری

۱. اجرای برنامه بازآفرینی ایمن بافت‌های فرسوده با رویکرد مدیریت بحران؛
۲. ایجاد مسیرهای اضطراری ویژه خودروهای امدادی در مناطق پرتراکم؛
۳. اعمال استانداردهای ایمنی در فرایند صدور پروانه‌های ساختمانی.

ب. در سطح عملکردی

۱. نوسازی تجهیزات آتش‌نشانی با اولویت مناطق پرخطر؛
۲. راه‌اندازی سامانه فرماندهی واحد اضطراری میان نهادهای مرتبط؛
۳. برگزاری آموزش‌های منسجم برای نیروهای اجرایی با بهره‌گیری از نهادهای بین‌المللی مانند NFPA.

ج. در سطح فرهنگی - اجتماعی

۱. اجرای کمپین‌های گسترده آموزش ایمنی حریق از طریق رسانه‌ها و مدارس؛
 ۲. تقویت مشارکت شهروندی در طرح‌های محله‌محور؛
 ۳. تدوین برنامه‌های تشویقی برای افزایش مسئولیت‌پذیری عمومی.
- همچنین، بر اساس رویکرد سیاست‌گذاری مبتنی بر شواهد، یک چارچوب سه‌لایه سیاستی پیشنهاد می‌شود:
۱. سیاست‌های پیشگیرانه: آموزش عمومی، اطلاع‌رسانی شفاف، بازرسی‌های ایمنی، و کنترل ساخت‌وساز.
 ۲. سیاست‌های واکنشی و تاب‌آورانه: آمادگی عملیاتی، تقویت لجستیک، و هماهنگی نهادی.
 ۳. سیاست‌های حکمرانی و نهادی: ایجاد نهاد هماهنگ‌کننده فرادست و اصلاح ساختار بودجه‌ریزی شهری.
- موفقیت این سیاست‌ها مستلزم تعهد دستگاه‌های اجرایی، تأمین منابع کافی، مشارکت ذی‌نفعان و اجرای دقیق و زمان‌مند برنامه‌ها است. درنهایت، این پژوهش مجموعه‌ای از اقدامات مشخص و کاربردی را برای ارتقای ایمنی حریق در تهران به سیاست‌گذاران، مدیران شهری و نهادهای مسئول پیشنهاد می‌کند. این اقدامات شامل: تدوین قوانین جامع، تشکیل نهاد متولی واحد، تخصیص بودجه پایدار، تقویت نظام بازرسی، توسعه آموزش عمومی، بهره‌گیری از فناوری‌های نو، ارزیابی‌های ریسک، ارتقای تجهیزات و آموزش نیروها، توسعه زیرساخت‌های ارتباطی، ایجاد معابر اضطراری، همکاری‌های بین‌المللی و حمایت از پژوهش‌های علمی است. اجرای این توصیه‌ها می‌تواند به بهبود چشمگیر سطح ایمنی حریق و کاهش آسیب‌پذیری تهران در برابر بحران‌های احتمالی منجر شود.

پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی:

- انجام مطالعات کمی و ترکیبی برای سنجش دانش و نگرش شهروندان نسبت به ایمنی حریق؛
- انجام مطالعات موردی در مناطق مختلف با تمرکز بر چالش‌های خاص (مانند بافت فرسوده یا برج‌ها)؛
- تحلیل اقتصادی هزینه و فایده سرمایه‌گذاری در ایمنی حریق؛
- بررسی نقش سمن‌ها و بخش خصوصی در ارتقای ایمنی؛
- مطالعات تطبیقی با کلان‌شهرهای موفق برای شناسایی بهترین تجربیات قابل اقتباس.

منابع

1. Tehran Municipality. Comprehensive safety and firefighting report [Internet]. Tehran: Tehran Fire Department; 2023 [cited 2025 May 29]. Available from: <https://125.tehran.ir/Default.aspx?tabid=470> [Persian].
2. Hatami Sh. Urban crisis management. Tehran: Samt; 2019 [Persian].
3. Tehran Fire Department. Annual performance report, 2023 (1402) [Internet]. Tehran: Statistics and Performance Analysis Center; 2023 [cited 2025 May 29]. Available from: <https://125.tehran.ir> [Persian].
4. Ebrahimpoor M. Internet of things and urban safety. *Faslname Fanavarihayeh Novin*. 2021; 9(2):65-78 [Persian].
5. Tanaka K, Yamamoto Y, et al. Fire risk assessment in historical urban areas: Kyoto case study. *J Disaster Risk Reduct*. 2021; 62:102384.
6. Silva M, Costa R. The impact of traffic congestion on fire emergency response in Sao Paulo. *Urban Transp J*. 2019; 45(3):223-231.
7. Tehran Fire Department. Annual statistical and analytical performance report, 2021 [Internet]. Tehran: Center for Fire Safety Studies; 2021 [cited 2025 May 29]. Available from: <https://125.tehran.ir/Portals/0/Files/Report/Amar1400.pdf> [Persian].
8. Asgary A, Naini S. Urban fire safety and risk governance in megacities. *Disaster Manage Rev*. 2022; 17(1):45-58.
9. Hatami Sh. Urban crisis management. Tehran: Samt; 2019 [Persian].
10. Tanaka K, Yamamoto Y, et al. Fire risk assessment in historical urban areas: Kyoto case study. *J Disaster Risk Reduct*. 2021; 62:102384.
11. Silva M, Costa R. The impact of traffic congestion on fire emergency response in Sao Paulo. *Urban Transp J*. 2019; 45(3):223-231.
12. Zwetsloot G, Aaltonen M. *Vision zero in fire safety*. Springer; 2020.
13. Ioannou A, et al. Urban safety and IoT. *Smart Cities J*. 2021; 4(2):110-129.
14. Hatami Sh. Urban crisis management. Tehran: Samt; 2019 [Persian].
15. Ebrahimpoor M. Internet of things in urban safety. *Faslname Fanavarihayeh Novin*. 2021; 9(2):65-78 [Persian].
16. Ghasemi Sh. The role of citizen participation in urban safety. *Faslname Jame'e Shenasi Shahri*. 2023; 10(1):55-69 [Persian].
17. Vardani L, Farokhnia V. Challenges of crisis management network governance (case study: Tehran City). *J Public Manag*. 2018; 10(3):477-502.
18. Creswell JW. *Qualitative inquiry and research design*. Sage; 2018.
19. Creswell JW. *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches*. 3rd ed. Thousand Oaks: Sage Publications; 2013.
20. Strauss A, Corbin J. *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory*. 2nd ed. Thousand Oaks: Sage Publications; 1998.
21. Guba EG, Lincoln YS. Competing paradigms in qualitative research. In: Denzin NK, Lincoln YS, editors. *Handbook of qualitative research*. 1st ed. Thousand Oaks: Sage Publications; 1994. p. 105-17.
22. National Fire Protection Association. *NFPA 101: Life safety code*. Quincy, MA: NFPA; 2021.

Urban Development Policy Making

Vol. 2, No. 4, Winter 2026

Contents

- **Assessment of Urban Waste Policies and Disposal Practices and Their Impacts on Urban Ecosystem and Public Health407**
Shayesteh Ebrahimi Zaker, Hamidreza Esmaeilnejad, Negin Mirzaei
- **Nanomaterials in Zero Energy Buildings: A Comprehensive Review of Achievements, Policy Making, and Urban Perspectives.....423**
Ali Yousefi Roshan, Mahdi Gandomzadeh, Yazdan Alvani, Aslan Gholami, Majid Zandi
- **Strategies for Promoting Citizen Participation and Investment in Tehran's Urban Management: Examining Obstacles, Opportunities, and Successful Experiences445**
Ali Hayatnia, Nafiseh Sadat Mirnezami
- **A Model for Choosing Electronic Document Management System in Order to Create a Knowledge-Based Organization465**
Hadi Alinia Gardroudbari, Seyed Mostafa Ghazizadeh Hashemi, Seyed Mahmood Emadi, Somayeh Manafi, Negin Mirzaei, Mobina Kalantari
- **Review of international policies and experiences in the multi-purpose utilization of urban underground spaces with a security-enhancement approach..... 475**
Mojtaba Araghizadeh
- **Investigating of Policies of the Use of Tehran Metro Stations Capacity as Emergency Shelters with a Crowd Management Approach491**
Solmaz Arzhangi, Masoud Naddafan
- **Fire Safety Management and Strategies for Its Improvement in Tehran Metropolis: A Study on Structural, Operational, and Socio-Cultural Challenges.....511**
Ghodrat Allah Mohammadi, Kamran Abdevali, Vahid Bahrami



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

Vida Mohammadzadeh Azani

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

Dr. Saeid Mohammadzaeh Bina

Graduate School of International Resource Sciences Department of Earth Resource Engineering and Environmental Science, Akita University, Japan

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

Dr. Sahar Nedae Tousi

Associate Professor, Department of Urban and Regional Planning and Design, Faculty of Architecture and Planning, Shahid Beheshti University

Urban Development Policy Making

Winter 2026. Vol 02. Issue 04. Serial No. 05

- **Assessment of Urban Waste Policies and Disposal Practices and Their Impacts on Urban Ecosystem and Public Health**
 - Shayesteh Ebrahimi Zaker, Hamidreza Esmaeilnejad, Negin Mirzaei
- **Nanomaterials in Zero Energy Buildings: A Comprehensive Review of Achievements, Policy Making, and Urban Perspectives**
 - Ali Yousefi Roshan, Mahdi Gandomzadeh, Yazdan Alvani, Aslan Gholami, Majid Zandi
- **Strategies for Promoting Citizen Participation and Investment in Tehran's Urban Management: Examining Obstacles, Opportunities, and Successful Experiences**
 - Ali Hayatnia, Nafiseh Sadat Mirnezami
- **A Model for Choosing Electronic Document Management System in Order to Create a Knowledge-Based Organization**
 - Hadi Alinia Gardroudbari, Seyed Mostafa Ghazizadeh Hashemi, Seyed Mahmood Emadi, Somayeh Manafi, Negin Mirzaei, Mobina Kalantari
- **Review of international policies and experiences in the multi-purpose utilization of urban underground spaces with a security-enhancement approach**
 - Mojtaba Araghizadeh
- **Investigating of Policies of the Use of Tehran Metro Stations Capacity as Emergency Shelters with a Crowd Management Approach**
 - Solmaz Arzhangi, Masoud Naddafan
- **Fire Safety Management and Strategies for Its Improvement in Tehran Metropolis: A Study on Structural, Operational, and Socio-Cultural Challenges**
 - Ghodrat Allah Mohammadi, Kamran Abdevali, Vahid Bahrami

