فصلنامه
۰۶
موسسه آموزش عالی علمی-کاربردی شهرداری تهران

سیاستگذاری پیشرفت شهری

بهار ۱۴۰۵. دوره سوم. شماره ۰۱. شماره پیاپی:۰۶

- کاربست داده‌محور رصدخانه آب و انرژی در مدیریت سیلاب کلان شهر اهواز
  - مصطفی معصومی، سید ابراهیم حسینی، غلامحسین کریمی، عارف وائلی، اردشیر کلانی
- امکان‌سنجی تأمین آب فضای سبز عمومی شهر تهران از طریق بازچرخانی و مدیریت پساب و رواناب‌ها
  - زهره حسامی، سید علیرضا طاهری ریابی، جواد یاحقی
- بررسی مدل‌های موفق سرمایه‌گذاری شهری در کشورهای توسعه‌یافته با تأکید بر رویکردهای نوآورانه: ارائهٔ مدل پیشنهادی برای شهرداری تهران
  - مسعودرضا ربیعی بهشتی، محمدرضا لطیفی ثابت
- تحلیل راهبردی بازچرخانی و استفادهٔ مجدد از آب با بهره‌گیری از مدل SWOT–QSPM در چارچوب حکمرانی پایدار
  - حمیده باصری باغسیاه، امید افخمی، مریم افخمی
- پایداری شهری در تأمین آب از طریق برداشت آب از مه بدون مصرف انرژی: مروری بر سامانه‌های جمع‌آوری مه
  - محمدعلی اله‌ربی شیرازی، حسین یوسفی، امیرحسین فتحی، مهدی بانشی
- الزامات پیاده‌سازی حکمرانی مشارکتی در مدیریت شهری؛ واکاوی تجربهٔ بودجه‌ریزی مشارکتی در شهرداری تهران
  - علی علاءالدینی، هادی حیدری قره‌بلاغ
- تلهٔ تمرکز و بحران بی‌آبی در تهران: تأثیر تجمع جذابیت‌های اقتصادی ـ اجتماعی و رشد جمعیت بر ناپایداری منابع آب شرب شهری
  - مجید سیّاری
- موانع جذب سرمایه در تهران با رویکرد مقایسه‌ای
  - محمود اولاد قره‌گوز، امیرحسین عظیم‌پور
- تحلیل راهبردی نقش شهرداری ها در مدیریت منابع آب در کلان‌شهر تهران
  - منا مسعودی آشتیانی، حمید کاردان مقدم
- واکاوی موانع اجرایی جذب سرمایه‌گذاری در پروژه‌های مدیریت شهری (مطالعهٔ موردی: شهرداری تهران)
  - نوید خاصه‌باف، علی انصاری، امیر گلاب‌زائی

فصلنامهٔ سیاستگذاری
پیشرفت شهری

بهار ۱۴۰۵، دورهٔ سوم، شمارهٔ ۱، شمارهٔ پیاپی ۶

صاحب امتیاز:
مؤسسهٔ آموزش عالی علمی کاربردی شهرداری تهران

مدیر مسئول
دکتر محمدحسین بوچانی
مدرس دانشگاه، دکتری برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید بهشتی

سردبیر
دکتر حسین یوسفی
استاد دانشکدهٔ انرژی و منابع پایدار، دانشگاه تهران

جانشین مدیر مسئول و سردبیر
مسعود ندافان

مدیر نشریه
زهراگلسا رسائی

مدیر اجرایی
دکتر حسینعلی مهرنیا

کارشناس نشریه
مرضیه رازقی

گرافیست
ویدا محمدزاده اذانی

ویراستار علمی- ادبی
فاطمه رشوند

ویراستار انگلیسی
دکتر فرهاد محبتی

صفحه‌آرا
زهرا استواری دیلمانی

ترتیب انتشار: فصلنامه
شاپای چاپی: ۳۰۹۲-۶۵۳X
شاپای الکترونیکی: ۳۰۹۲-۶۵۶٤
سیاست انتشار: دسترسی آزاد
فرآیند داوری: دوسوکور

شناسه مجوز وزارت فرهنگ و ارشاد: ۹۷٤۲٦
تاریخ مجوز : ۲۵ فروردین ۱٤۰٤
در تاریخ ۱۶. ۱۰. ۱۴۰۴ فصلنامه سیاستگذاری پیشرفت شهری گواهی تاییدیه ورود به فرآیند ارزیابی و رتبه‌بندی نشریات علمی را از دفتر سیاستگذاری و برنامه‌ریزی امور پژوهشی نشریات علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری اخذ کرده است

نشانی: تهران، خیابان کریم‌خان زند، جنب پارک بهجت آباد، پلاک ۱۹۵، روبروی سازمان نوسازی شهرداری، مؤسسهٔ آموزش عالی علمی کاربردی شهرداری تهران
کد پستی: ۱۵۹۴۶۴۵۱۱۹
تلفن: ۰۲۱-۸۸۹۲۴۸۷۳، ۰۲۱-۸۸۹۲۴۸۷۶، ۰۲۱-۸۸۸۹۸۹۴۴
پست الکترونیکی: amozesh.moasese@gmail.com
وب‌سایت نشریه: https://judpm.ir

اعضای هیئت تحریریهٔ بین‌المللی

پروفسور بهنام محمدی ایواتلو
استاد دانشکدهٔ مهندسی انرژی، دانشگاه ال یو تی فنلاند

پروفسور 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 دانشکدهٔ 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 دانشکدهٔ اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبایی

دکتر معین معینی اقطاعی
دانشیار دانشکدهٔ مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی شریف

دکتر رضا نصر اصفهانی
دانشیار اقتصاد شهری گروه کارآفرینی و اقتصاد، دانشگاه هنر اصفهان

دکتر سید داود آقائی
استاد دانشکدهٔ حقوق و علوم سیاسی، دانشگاه تهران

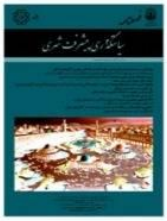
دکتر سحر ندایی طوسی
دانشیار گروه برنامه‌ریزی و طراحی شهری و منطقه‌ای دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه شهیدبهشتی

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
معاونت پژوهش و فناوری
کمیسیون نشریات علمی

بسمه تعالی

شماره: ۱۴۰۴-۲۱۶۷۳

گواهی تأییدیه ورود به فرآیند ارزیابی و رتبه‌بندی نشریات علمی



گواهی می‌شود:

نشریه

سیاستگذاری پیشرفت شهری

با صاحب امتیازی **دانشگاه جامع علمی ـ کاربردی** پس از بررسی‌های اولیه، تأییدیه ورود به فرآیند ارزیابی و رتبه بندی نشریات علمی را در تاریخ ۱۴۰۴/۱۰/۱۶ کسب نموده است.

در این مرحله اطلاعات شناسنامه‌ای نشریه، سردبیر و گروه دبیران توسط کمیسیون نشریات علمی بررسی و تأیید شده‌است.

صمد نژاد ابراهیمی
مدیرکل دفتر سیاستگذاری و برنامه‌ریزی امور پژوهشی و دبیر کمیسیون نشریات علمی

مدیریت پژوهش و فناوری ایران
سامانه یکپارچه مدیریت اطلاعات پژوهشی و فناوری
MAPFA.MSRT.IR

سیاستگذاری پیشرفت شهری

دورهٔ سوم، شمارهٔ اول، بهار ۱۴۰۵

فهرست مقالات

- **کاربست داده‌محور رصدخانه آب و انرژی در مدیریت سیلاب کلان شهر اهواز ۱**

مصطفی معصومی، سید ابراهیم حسینی، غلامحسین کریمی، عارف وائلی، اردشیر کلانی

- **امکان‌سنجی تأمین آب فضای سبز عمومی شهر تهران از طریق بازچرخانی و مدیریت پساب و رواناب‌ها ۱۹**

زهره حسامی، سید علیرضا طاهری ریابی، جواد یاحقی

- **بررسی مدل‌های موفق سرمایه‌گذاری شهری در کشورهای توسعه‌یافته با تأکید بر رویکردهای نوآورانه: ارائهٔ مدل پیشنهادی برای شهرداری تهران ۳۳**

مسعودرضا ربیعی بهشتی، محمدرضا لطیفی ثابت

- **تحلیل راهبردی بازچرخانی و استفادهٔ مجدد از آب با بهره‌گیری از مدل SWOT QSPM- در چارچوب حکمرانی پایدار ۵۱**

حمیده باصری باغ‌سیاه، امید افخمی، مریم افخمی

- **پایداری شهری در تأمین آب از طریق برداشت آب از مه بدون مصرف انرژی: مروری بر سامانه‌های جمع‌آوری مه..... ۶۹**

محمدعلی الهربی شیرازی، حسین یوسفی، امیرحسین فتحی، مهدی بانشی

- **الزامات پیاده‌سازی حکمرانی مشارکتی در مدیریت شهری؛ واکاوی تجربهٔ بودجه‌ریزی مشارکتی در شهرداری تهران ۹۵**

علی علاءالدینی، هادی حیدری قره‌بلاغ

- **تلهٔ تمرکز و بحران بی‌آبی در تهران: تأثیر تجمع جذابیت‌های اقتصادی ـ اجتماعی و رشد جمعیت بر ناپایداری منابع آب شرب شهری ۱۱۳**

مجید سیّاری

- **موانع جذب سرمایه در تهران با رویکرد مقایسه‌ای ۱۳۵**

محمود اولاد قره‌گوز، امیرحسین عظیم‌پور

- **تحلیل راهبردی نقش شهرداری‌ها در مدیریت منابع آب در کلان‌شهر تهران ۱۵۹**

منا مسعودی آشتیانی، حمید کاردان مقدم

- **واکاوی موانع اجرایی جذب سرمایه‌گذاری در پروژه‌های مدیریت شهری (مطالعهٔ موردی: شهرداری تهران) ۱۷۳**

نوید خاصه‌باف، علی انصاری، امیر گلاب‌زائی

باسمه‌تعالی

سخن مدیرمسئول

مدیریت شهری در ایران با وجود سابقه طولانی از حیث ساختاری و کارکردی دارای آسیب‌های متعدد و گوناگون است، تفرق مدیریتی، کم‌توجهی به اجرای طرح‌های توسعه شهری بخصوص توسط دستگاه‌های اجرایی ذیل قوه مقننه و نهادهای خارج از شهرداری‌ها، تنش ارتباطی قوه مقننه و مدیریت‌های محلی و در نهایت ضعف در نظام تامین منابع؛ بخشی از نارسایی مدیریت شهری ایران بخصوص در کلان‌شهرها و شهرهای مراکز استان‌ها می‌باشد. با وجود آشکار بودن ضعف‌ها، تهدیدها و نارسایی‌ها در ساختار مدیریت شهری ایران، اما اراده سیاسی و نهادی برای گام نهادن در مسیر بهبود و حل مساله کمتر دیده می‌شود.

فقدان اعتماد و باورمندی قوه مجریه و مقننه به حل مسائل توسط شهرداری‌ها و شوراهای شهر، سبب شده است که تمرکززدایی و واگذاری تصدی‌های اجرایی و محلی به مدیریت‌های شهری همانند تجربه‌های جهانی صورت نگیرد. واقعیت این است؛ بخشی از مسائل خدمات شهری در شهرها (از قبیل آب، برق، گاز، آموزش، آسیب‌های اجتماعی، مسکن، امورِرفاهی و ...) به واسطه بحران‌های اقتصادی و اجتماعی فراروی کشور، به فرض واگذاری به شهرداری‌ها امکان تغییر جدی برای بهبود در کیفیت خدمات، حداقل درکوتاه‌مدت متصور نیست، شاید تاخیر در واگذاری تصدی‌های خدمات شهری در طول ۵ دهه گذشته، سبب پیچیده‌تر شدن مدل‌های حکمروایی محلی در ایران شده است. ولی تحت هر شرایطی گریزی از تمرکززدایی و واگذای تصدی‌های خدمات شهری به شوراها و شهرداری‌ها نیست.

در بین مجموعه خدمات شهری در کشور، خدمات مربوط مدیریت منابع آبی و انرژی در چند سال اخیر دچار بحران‌های متعدد بوده است، واکاوی تجربیات جهانی و همچنین ظرفیت‌های مدیریت شهری در ایران نشان می‌دهد، شهرداری‌ها در این زمینه می‌توانند نقش‌های کلیدی و موثری داشته باشند. در این شماره از فصلنامه تلاش شده است بخشی از مقالات علمی به نقش شهرداری‌ها در حل مدیریت بحران آب بپردازند؛ سیاستگذاری مناسب در این زمینه مستلزم تغییر در رویکرد دو بخش دولتی و شهرداری‌ها می‌باشد.

در حوزه حل مسائل مربوط به مسکن و انرژی نیز شهرداری‌ها دارای ظرفیت کم‌نظیری هستند. مطابق با بند ۲۱ ماده ۵۵ قانون شهرداری‌ها (اتخاذ لازم برای ساختمان (ساخت) خانه‌های ارزان قیمت برای اشخاص بی‌بضاعت ساکن شهر) از وظایف شهرداری‌ها می‌باشد. سیاستگذاری برای تامین مسکن اجتماعی در حوزه اختیارات دولت است، اما نحوه اجرا و سازوکارهای عملیاتی آن بایستی به شهرداری‌ها واگذار شود. امیدوارم در شماره‌های بعدی فصلنامه این موضوع مورد بررسی علمی قرار گیرد.

خوشبختانه در تاریخ ۱۶ دیماه ۱۴۰۴ با تلاش همکاران بویژه سردبیر (آقای دکتر حسین یوسفی)، گواهی تاییدیه ورود به فرآیند ارزیابی و رتبه‌بندی نشریات علمی برای فصلنامه سیاستگذاری پیشرفت شهری؛ توسط دفتر سیاستگذاری و برنامه‌ریزی امور پژوهشی و دبیر کمیسیون نشریات علمی وزارت عتف صادر شده است، امیدوارم با اخذ رتبه علمی بتوانیم ادامه چاپ و انتشار مجله را با رویکرد پژوهشی‌تر و علمی‌تر تعقیب کنیم. تا رسیدن به این مرحله از کار فصلنامه، همکاران زیادی تلاش کرده‌اند، لازم می دانم از همت و باورمندی ایشان صمیمانه تشکر کنم. اطمینان داریم حل مسائل شهری در ایران با تکیه بر چارچوب‌های علمی امکان‌پذیراست.

محمد حسین بوچانی

Urban Development Policy Making

Home Page: https://judpm.ir

Online ISSN: 3092-6564

Data-Driven Application of the Water and Power Observatory in Flood Management in the Metropolis of Ahvaz

Mostafa Masoumi[1] | Seyed Ebrahim Hosseini[2] | Gholamhossein Karimi[3*] | Aref Vaeli[4] | Ardeshir Kalani[5]

1. Water and Power Observatory, Khuzestan Water and Power Authority, Ahvaz, Iran. Email: masoumi.m@kwpa.ir
2. River and Coastal Engineering Department, Khuzestan Water and Power Authority, Ahvaz, Iran. Email: hosseini.se@kwpa.ir
3. Corresponding Author, Water and Power Observatory, Khuzestan Water and Power Authority, Ahvaz, Iran. Email: karimi1925@yahoo.com
4. Water and Power Observatory, Khuzestan Water and Power Authority, Ahvaz, Iran. Email: vaeli.a@kwpa.ir
5. Water and Power Observatory, Khuzestan Water and Power Authority, Ahvaz, Iran. Email: kalani.a@kwpa.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 23 July 2025
Revised 02 September 2025
Accepted 02 November 2025
Published Online 01 January 2026

Keywords:
Ahvaz,
Flood Management Regulations,
Specialized Table,
Urban Flood.

ABSTRACT

The presence of permanent rivers or seasonal streams in populated areas or in the vicinity of large cities such as Tehran, Ahvaz, Isfahan, and Shiraz, in addition to creating opportunities for urban development, should always be considered as a potential threat in terms of risks and damages caused by floods. The presence of 5 important and flood rivers in Khuzestan Province and the location of the metropolis of Ahvaz and some important cities in the vicinity of these rivers shows that floods are always lurking in the shadows of entering these cities. 60 years of experience in water resources management in Khuzestan Province has led to integrated and more accurate flood management, which can be introduced as a suitable model for the flood management process in cities located in the vicinity of rivers or streams. In the April 2019 flood in the Khuzestan region, the effective use of data, information, and model output, along with the correct analysis of various scenarios, resulted in the maximum flow rate of the Karun River in the Ahvaz section not exceeding 3,200 m^3/s. This was while, based on mathematical models and field evidence, if the aforementioned measures were not implemented, the flow rate in the Ahvaz section would have exceeded 5,000 m^3/s, causing financial and human losses. In this article, which was conducted in a descriptive-analytical manner after collecting and processing data, based on the lessons learned and experiences gained from the management of the aforementioned flood, the role of the Water and Energy Observatory in predicting and reducing flood risks in the period before, during, and after the flood is presented as an efficient model.

Cite this article: Masoumi, M.; Hosseini, E.; Karimi, Gh.; Vaeli, A. & Kalani, A. (2026). Data-Driven Application of the Water and Power Observatory in Flood Management in the Metropolis of Ahvaz. *Urban Development Policy Making*, 3 (1), 1-17. DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.542528.1059

© Mostafa Masoumi, Seyed Ebrahim Hosseini, Gholamhossein Karimi, Aref Vaeli, Ardeshir Kalani
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.542528.1059

Introduction

Iran is highly vulnerable to destructive river floods. Major cities like Ahvaz, situated near perennial rivers, face constant flood threats. The April 2019 floods in Khuzestan province presented an extreme event, with 14.5 billion cubic meters (BCM) of water entering upstream reservoirs, nearly three times the long-term average for that period. This study details the successful, data-driven strategy employed to manage this crisis, preventing catastrophic urban flooding in Ahvaz. The core of this strategy was

the integrated "Flood Management Process" facilitated by the Khuzestan Water and Power Observatory, which served as a central hub for data collection, analysis, and decision-support.

Materials and Methods

The methodology was a comprehensive, multi-stage process. It began with meteorological forecasting using national and international systems (e.g., Hydroclimate, Flood Forecasting System) to predict precipitation intensity and distribution. This was followed by runoff forecasting using hydrological models (VISTA, SWAT_KARKHEH, MIKE NAM, HEC-HMS) to estimate the volume and timing of inflow into major reservoirs (Karun, Dez, Karkheh, Marun, Jarreh). Reservoir management was the critical next step; utilizing routing models and expert judgment from an advisory council, optimal release strategies were devised to balance dam safety with the downstream carrying capacity of rivers. Flow routing and river engineering employed 1D and 2D hydraulic models (MIKE FLOOD, HEC-RAS, HEC-1) to simulate flood propagation, identify inundation zones, pinpoint critical bottlenecks (e.g., bridges), and calculate travel times to population centers. All actions were coordinated through specialized operational desks that integrated real-time data from a network of 310 monitoring stations, satellite imagery (e.g., Sentinel), and drone footage for situational awareness and scenario planning.

Results

The application of this integrated process yielded highly effective results. The models initially indicated a severe threat: without proactive management, the discharge passing through Ahvaz could have exceeded 5000 m^3/s, submerging vast urban areas. However, through precise, data-informed reservoir operations and pre-emptive engineering measures (e.g., reinforcing levees, removing bottlenecks), the actual maximum discharge at the Ahvaz section was successfully capped at 3200 m^3/s. This was a crucial threshold, as flows exceeding 3200 m^3/s would have breached urban defenses. The managed release strategy, which involved releasing approximately 9 BCM of water in a controlled manner, prevented the city from flooding. Consequently, despite the event's immense scale, flood management in Khuzestan resulted in zero human casualties, a stark contrast to simultaneous floods in other Iranian provinces (Golestan, Lorestan) which suffered significant losses.

Discussion and Conclusion

The April 2019 flood event in Ahvaz serves as a powerful case study for successful, proactive flood risk management in a data-rich environment. The key to success was the seamless integration of advanced forecasting, real-time monitoring, hydraulic modeling, and most importantly a pre-defined collaborative framework and clear responsibility matrix (RACI) between all relevant agencies (Ministry of Energy, Ministry of Interior, municipalities). This "Flood Management Process" ensured that data was transformed into actionable intelligence for timely decision-making. Recommendations derived from this experience emphasize the continuous need for: updating flood action plans and inter-agency protocols, maintaining and reinforcing hydraulic infrastructure (dredging, levees), investing in and modernizing forecasting and warning systems, enforcing strict land-use regulations in floodplains, conducting public awareness campaigns, and mandatory insurance mechanisms. This model demonstrates that a centralized, data-driven observatory can be instrumental in mitigating urban flood disasters, transforming a reactive response into a predictive and managed operation.

پیشرفت شهری
سیاستگذاری
سایت نشریه: https:// judpmi.ir
شاپا الکترونیکی: ۳۰۹۲-۶۵۶۴

کاربست داده‌محور رصدخانه آب و انرژی در مدیریت سیلاب کلان شهر اهواز

مصطفی معصومی[۱]| سید ابراهیم حسینی[۲]| غلامحسین کریمی[۳*]| عارف وائلی[۴]| اردشیر کلانی[۵]

۱. رصدخانهٔ آب و انرژی سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران. رایانامه: masoumi.m@kwpa.ir
۲. مدیریت مهندسی رودخانه‌ها و سواحل سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران. رایانامه: hosseini.se@kwpa.ir
۳. نویسندهٔ مسئول، رصدخانهٔ آب و انرژی سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران. رایانامه: karimi1925@yahoo.com
۴. رصدخانهٔ آب و انرژی سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران. رایانامه: vaeli.a@kwpa.ir
۵. رصدخانهٔ آب و انرژی سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران. رایانامه: kalani.a@kwpa.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱

کلیدواژه:
اهواز،
سیلاب شهری،
میز تخصصی،
نظام‌نامهٔ مدیریت سیلاب.

چکیده

وجود رودخانه‌های دائم یا مسیل‌های فصلی در محدوده‌های جمعیتی یا در مجاورت شهرهای بزرگ نظیر تهران، اهواز، اصفهان و شیراز، علاوه بر ایجاد فرصت برای توسعهٔ شهری، همواره به عنوان تهدیدی بالقوه از نظر خطرات و آسیب‌های ناشی از سیلاب، باید مد نظر قرار گیرد. جاری بودن ۵ رودخانهٔ مهم و سیلابی در استان خوزستان و قرار گرفتن کلان‌شهر اهواز و برخی شهرهای مهم در مجاورت این رودخانه‌ها، نشان می‌دهد سیلاب همواره در کمین ورود به این شهرها است. تجارب ۶۰سالهٔ به‌دست‌آمده از مدیریت منابع آب در استان خوزستان، باعث مدیریت یکپارچه و دقیق‌تر سیلاب شده است که می‌تواند به عنوان الگوی مناسبِ فرایند مدیریت سیلاب در شهرهایی که در مجاورت رودخانه‌ها یا مسیل‌ها قرار دارند معرفی شود. در سیلاب فروردین ۱۳۹۸ منطقهٔ خوزستان، استفادهٔ مؤثر از داده‌ها، اطلاعات و خروجی مدل‌ها در کنار تحلیل صحیح سناریوهای مختلف باعث شد که حداکثر دبی عبوری رودخانهٔ کارون در مقطع اهواز از ۳۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه تجاوز نکند. این در حالی بود که بر اساس مدل‌های ریاضی و شواهد میدانی در صورت عدم اجرای اقدامات پیش‌گفته، دبی عبوری در مقطع اهواز از ۵ هزار مترمکعب بر ثانیه عبور می‌کرد و خسارت‌های مالی و انسانی به بار می‌آورد. در این مقاله که پس از جمع‌آوری و پردازش داده‌ها، به شکل توصیفی ـ تحلیلی انجام شده است، بر اساس درس‌آموخته‌ها و تجارب حاصل از مدیریت سیلاب یادشده، نقش رصدخانهٔ آب و انرژی در پیش‌بینی و کاهش مخاطرات سیلاب در بازهٔ زمانی قبل، حین و پس از وقوع سیل به عنوان یک الگوی کارآمد ارائه شده است.

استناد: معصومی، مصطفی؛ حسینی، سید ابراهیم؛ کریمی، غلامحسین؛ وائلی، عارف و کلانی، اردشیر (۱۴۰۵). کاربست داده‌محور رصدخانه آب و انرژی در مدیریت سیلاب کلان شهر اهواز. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۳ (۱) ۱-۱۷.

DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.542528.1059

© مصطفی معصومی، سید ابراهیم حسینی، غلامحسین کریمی، عارف وائلی، اردشیر کلانی
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.542528.1059

۱. مقدمه

بررسی آمار سیلاب‌های هفتادسالهٔ گذشته نشان می‌دهد کشور ما در ردیف کشورهای سیل‌خیز جهان است و همه‌ساله بر اثر سیلاب‌های حادثه‌ساز متحمل تلفات جانی و خسارات مالی سنگین شده است [۱]. در سال‌های اخیر به دلیل تغییر اقلیم و بروز پدیده‌های حدّی، تنوع و تعدد مخاطرات آبی (سیلاب و خشکسالی) به‌شدت افزایش یافته به طوری که تشدید وقوع سیلاب‌های خسارت‌بار در سطح جهانی و ملی دور از ذهن نیست [۲]. بسیاری از کلان‌شهرها و مراکز جمعیتی به دلیل عبور رودخانه‌ها و مسیل‌های سیلابی از میان یا مجاور آن‌ها، در معرض خطر سیلاب هستند. وجود رودخانه‌های دائم یا مسیل‌های فصلی در نواحی مسکونی یا در مجاورت شهرهایی نظیر تهران، اهواز، شیراز و اصفهان، علاوه بر ایجاد فرصت جهت توسعهٔ شهری، همواره باید از نظر خطرات و آسیب‌های ناشی از سیلاب، به عنوان تهدیدی بالقوه مد نظر قرار گیرد، زیرا سیلاب شهری به عنوان یکی از بلایای مخرب طبیعی، خسارت‌های مالی و جانی قابل توجهی را به جوامع وارد می‌کند. با توجه به رشد شهرنشینی و تغییرات اقلیمی، مدیریت مؤثر سیلاب به یک ضرورت تبدیل شده است.

به منظور کاهش اثرات مخرب سیلاب لازم است طی فرایندی مشخص و ازپیش‌تعریف‌شده، از زمان پیش از وقوع سیلاب، حین و بعد از آن، از کلیهٔ داده‌ها و اطلاعات به‌روز نظیر داده‌ها و اطلاعات آب و هواشناسی، سامانه‌ها، مدل‌ها و نرم‌افزارهای تخصصی در کنار دانش کارشناسان متخصص در زمینه‌های مختلف، استفاده کرد [۳]. مدیریت داده‌ها و استفاده از فناوری‌های نوین نقش کلیدی در بهبود فرایند مدیریت سیلاب ایفا می‌کند. مطالعات خارجی و ایرانی بر اهمیت مدیریت داده‌ها در تمامی مراحل مدیریت سیلاب (پیش‌بینی، پیشگیری، پاسخ و بازیابی) تأکید کرده‌اند. بخشی از فرایند مدیریت سیل به توانمندی‌های دسترسی به داده‌ها، اطلاعات مورد نیاز و تحلیل‌های اولیه سنجش و پایش برمی‌گردد. از سال ۱۳۹۸ زیرساخت‌های دسترسی سریع به داده‌ها و اطلاعات در رصدخانهٔ آب و انرژی سازمان آب و برق خوزستان ایجاد شده است تا بتوان از آن‌ها به بهترین شکل در تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری در شرایط بحرانی بهره گرفت [۴]. در این مقاله به اقداماتی که سازمان آب و برق خوزستان به منظور پیش‌بینی، مدل‌سازی، رصد، پایش و مدیریت سیلاب فروردین ۱۳۹۸ پرداخته می‌شود و تجربهٔ موفق مدیریت سیلاب کلان‌شهر اهواز به عنوان الگوی موفق از همکاری مشترک بین وزارت نیرو، وزارت کشور و سایر ارگان‌های دولتی، ارائه می‌شود.

برخی از اصول و تجارب جهانی مدیریت سیلاب شهری که از سال‌های دور مد نظر بوده و ضروری است مورد توجه خاص قرار گیرند، به شرح زیر هستند:

۱-۱. الزامات، استانداردها، بایدها و نبایدهای مدیریت سیلاب شهری

به منظور پیشگیری و کاهش خسارت‌های سیل باید مطالعات و اقداماتی نظیر «مطالعه و اجرای طرح‌های سازه‌ای مهار سیل»، «مطالعه و اجرای طرح‌های غیرسازه‌ای»، «مدیریت و حفاظت حوضهٔ آبخیز»، «تهیه و تدوین نظام‌نامه مدیریت سیل و برنامهٔ اقدام[1] در سه مرحلهٔ زمانی قبل، حین و بعد از وقوع سیل» و «آموزش همگانی و تخصصی» مد نظر قرار گیرد که شرح هر یک از این موارد خارج از ظرفیت این مقاله است [۲].

۱-۲. مدیریت ریسک اضطراری سیلاب شهری

با توجه به اینکه با وقوع سیلاب، شهر با بحران مواجه می‌شود لذا باید عملیات مقابله با بحران طراحی و پیاده‌سازی شود. عملیات مقابله با بحران از ۴ جزء مدیریت اضطراری ریسک به شرح زیر تشکیل شده است: جلوگیری از اثرات یا کاهش شدت خسارت‌ها[2]، ایجاد آمادگی و پیشگیری جامعه[3]، مقابلهٔ فوری بعد از درک خطر[4] و توانمندسازی جامعه[5].

1. Action Plan
2. Prevention
3. Preparedness
4. Response
5. Recovery

۱-۳. مقاوم‌سازی در مقابل سیل و بیمهٔ سیل

در جوامع پیشرفته در معرض سیل، مقاوم‌سازی اماکن و تأسیسات حیاتی را دولت و شهرداری‌ها عهده‌دار شده، ولی مقاوم‌سازی ساختمان‌های مسکونی شخصی توسط مردم البته با حمایت دولت انجام می‌شود. وظایف دولت و شهرداری‌ها، مقاوم‌سازی اماکن حیاتی و مهم در مقابل سیل است. معمولاً چهار نوع مقاوم‌سازی در برابر سیل پیشنهاد می‌شود: حفاظت از تأسیسات زیربنایی، حفاظت از ساختمان‌ها، تمهیدات هدایت و راهنمایی در شرایط اضطراری (شامل در نظر گرفتن راه فرار برای ساکنان، ایجاد دسترسی آسان به پل‌ها و راه‌های اضطراری، در نظر گرفتن راه‌های ایمن به مراکز درمانی و معیشتی) و مقاوم‌سازی کشاورزی در برابر سیل (در صورت وجود کشاورزی و باغ‌ها در نواحی شهری). بیمهٔ سیل نیز یکی از اقدامات بسیار مهمی است که بستر و قوانین آن باید توسط دولت مهیا شود. در این صورت هم امکان جبران خسارت واردشده فراهم می‌شود و از عهدهٔ دولت برداشته می‌شود و هم ریسک دخل و تصرف در سیلاب‌دشت‌ها کاهش می‌یابد.

۲. مروری بر تحقیقات و یافته‌های جدید در خصوص مدیریت سیلاب شهری

مطالعات ده‌سالهٔ اخیر به طور پراکنده بر جنبه‌هایی از مدیریت سیلاب شهری تأکید داشته‌اند که به شرح زیر هستند:

- برنامه‌ریزی برای بهبود پاسخ به سیلاب در مناطق شهری ایران بر اساس استفاده از داده‌های زمان واقعی[1] و سیستم‌های هشدار سریع [۵].
- خانواده‌ای از شبکه‌های عصبی عمیق جدید، یعنی الگوریتم «شبکه‌های انتزاعی عمیق» (DANet)، برای کاهش سیل شهری به عنوان یک ابزار مدیریتی مفید برای پیش‌بینی سیل شهری توصیه می‌شود [۶].
- داده‌های متنوع و ناهمگن از جمله داده‌های حسگرها، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های اجتماعی می‌توانند برای پیش‌بینی، نظارت و پاسخ به سیلاب استفاده شوند. یکپارچه‌سازی این داده‌ها چالش‌های فنی و مفهومی قابل توجهی دارد، اما برای مدیریت جامع سیلاب ضروری است [۷].
- داده‌های باز بر اساس الگوهای جست‌وجوی وب می‌توانند نشان‌دهندهٔ آگاهی عمومی از خطر سیلاب باشند و به پیش‌بینی تأثیر سیلاب شهری کمک کنند. این رویکرد داده‌محور می‌تواند برای بهبود پاسخ به سیلاب و افزایش تاب‌آوری شهری مورد استفاده قرار گیرد [۸].
- استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی برای شبیه‌سازی سیلاب شهری مورد تأکید است. این مدل‌ها از داده‌های بارش، توپوگرافی، پوشش زمین و ویژگی‌های سیستم زهکشی شهری استفاده می‌کنند. دقت این مدل‌ها به کیفیت و کامل بودن داده‌های ورودی بستگی دارد [۹].
- ارزیابی ریسک سیلاب با استفاده از داده‌های چندمنبعی نیازمند ادغام داده‌های طبیعی، زیرساختی و اجتماعی ـ اقتصادی است و استفاده از داده‌های حاصل از منابع مختلف می‌تواند دقت ارزیابی ریسک را افزایش دهد و به برنامه‌ریزی مؤثر برای کاهش خسارت‌ها کمک کند [۱۰].
- استفاده از مدل‌های مفهومی که بر پایهٔ داده‌های تاریخی و واقعی بنا شده‌اند، به درک فرایندهای سیلاب و توسعهٔ سیاست‌های مؤثر کمک می‌کنند [۱۱].
- استفاده از داده‌های تولیدشده توسط شهروندان (مانند گزارش‌های میدانی و پست‌های شبکه‌های اجتماعی) می‌تواند نقش مهمّی در مدیریت سیلاب داشته باشد. این داده‌ها می‌توانند اطلاعات ارزشمندی را برای نظارت و پاسخ به سیلاب ارائه دهند [۱۲].
- یکپارچه‌سازی داده‌ها با استفاده از هوش مصنوعی و یا ادغام فناوری‌های زمین‌مرجع مکانی با هوش مصنوعی به بهبود مدیریت سیلاب کمک می‌کند. هوش مصنوعی می‌تواند برای پردازش حجم بزرگی از داده‌های ناهمگن و استخراج الگوهای مفید مورد استفاده قرار گیرد [۱۳].

1. Real-time

- تنها با ۹/۸۱ درصد از مساحت اشغال‌شده توسط زیرساخت‌های سبز مختلف موسوم به توسعهٔ کم‌اثر (LID)، می‌توان به کاهش بیش از ۳۰ درصدی سیل در مناطق شهری دست یافت. علاوه بر این، اجرای LIDها می‌تواند به بازگرداندن وضعیت هیدرولوژیکی حوضهٔ آبخیز به حالت طبیعی آن کاهش ضریب رواناب کمک کند [۱۴].
- از طریق مدل‌سازی سیلاب‌های ناگهانی در شهرهای ساحلی مدیترانه‌ای (مثل بارسلونا و رم) مشخص شد که با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و مدل‌های هیدرولوژیکی پیشرفته، رابطهٔ بین پوشش زمین، شبکهٔ زهکشی و شدت سیلاب‌ها را می‌توان تجزیه و تحلیل کرد [۱۵].
- لزوم اتخاذ راه‌حل‌های متناسب و رویکردهای یکپارچه با استفاده از راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت (NBSs) به عنوان یک استراتژی تاب‌آور برای کاهش خطرات سیل شهری در یک کشور در حال توسعه و گرم و خشک، بر کاهش خطر سیل تأکید می‌کند [۱۶].
- راهکارهای عملیاتی برای مدیریت ریسک سیلاب در شهرهای کوچک و متوسط اروپا (مانند شهرهای آلمان و فرانسه) از ترکیب روش‌های طبیعی (مثل بسترهای رودخانه‌ای بازسازی‌شده) و زیرساخت‌های مصنوعی مورد تأکید است [۱۷].
- خطر سیل را می‌توان از طریق اقدامات سازه‌ای، مانند احیای زهکشی با استفاده از یک سیستم بسته، و استراتژی‌های غیرسازه‌ای، از جمله رویکردهای انسان‌محور، اداری و فرهنگی، مدیریت کرد. بر اساس تحلیل سلسله‌مراتبی، مؤثرترین فناوری، سیستم زهکشی بسته و بلوک‌های سنگفرش متخلخل بود [۱۸].
- پهنه‌بندی سیلاب کاربرد وسیعی در مدیریت سیلاب دارد و یکی از اطلاعات اساسی و مهم در مدیریت ریسک سیلاب محسوب می‌شود. پهنه‌بندی سیلاب در مناطق شهری با توجه به ماهیت دوبعدی جریان و از طرفی، تراکم عوارض شهری مانند ساختمان‌ها، خیابان‌ها، بلوارها و معابر عمومی بسیار مشکل‌تر از مدل‌سازی در محدودهٔ سیلاب‌دشت و رودخانه‌ها است. پهنه‌بندی سیل برای مناطق ۲۱ و ۲۲ شهر تهران در حالت وضع موجود، که تقریباً منطقه فاقد شبکهٔ کانال‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی است با استفاده از مدل‌سازی بارش ـ رواناب فیزیک‌مبنا و روندیابی هیدرولیکی دوبعدی به‌ترتیب با کمک مدل HEC-HMS برای تخمین رواناب ورودی از کوهستان و مدل MIKE21 برای تخمین پهنهٔ سیلاب ۵۰ساله، نشان می‌دهد در صورت رخداد وقایع حدی نظیر بارش ۵۰ساله، بخشی از بزرگراه‌ها و شریان‌های ارتباطی شهر تهران به سمت غرب دچار اختلال می‌شود و امکان تردد وجود نخواهد داشت. علاوه بر این، کاربری‌های مختلفی در پهنهٔ سیل قرار می‌گیرد و به دلیل نبود شبکهٔ آب سطحی، شرایط ماندابی در سرتاسر مناطق ۲۱ و ۲۲ شهر تهران قابل پش‌بینی است. بنابراین، توسعهٔ شبکهٔ جمع‌آوری آب‌های سطحی از اولویت‌های اصلی کاهش ریسک سیل در این مناطق است [۱۹].
- سیستم‌های هشدار سریع مبتنی بر اینترنت اشیا[1] و هوش مصنوعی بر اساس جمع‌آوری‌شده و ترکیب داده‌های سنسورهای زیرزمینی و هوایی با الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای شهرهای هوشمند اروپا (مثل اسلو و وین) در مدیریت سیلاب شهری مؤثر بوده است [۲۰].

۳. روش تحقیق

در سال‌های اخیر به دلیل گرمایش جهانی و اثرات آن بر تغییر اقلیم، منطقهٔ جنوب غرب ایران به‌ویژه استان خوزستان به طور متناوب متأثر از وقوع پدیده‌های حدی نظیر سیلاب و خشکسالی بوده است. از بزرگ‌ترین سیلاب‌های سال‌های اخیر سیلاب فروردین ۱۳۹۸ بود که شرایط و آمادگی برای وقوع آن نظیر حالت بحرانی رودخانه‌ها، اعلام عدم تمرکز در مجاورت رودخانه‌ها و تخلیهٔ مخازن به منظور ایجاد حجم خالی به منظور کنترل سیل، از اوایل دی‌ماه سال قبل نمایان شد و سازمان‌های آب و برق خوزستان آمادگی لازم برای مواجهه با سیلاب را اعلام کردند. شایان یادآوری است به دلیل مسطح بودن اراضی دشت خوزستان امکان وقوع سیلاب‌های ناگهانی ناشی از رگبارهای لحظه‌ای وجود ندارد، اما به دلیل قرارگیری دشت خوزستان در ارتفاع پایین و

1. IoT

بخش منتهی‌الیه رودخانه‌ها، تداوم و حجم سیلاب‌های رودخانه‌ای بسیار مهم است و می‌تواند آورد زیادی را به درون سدهای مشرف به استان وارد کند.

۳-۱. مطالعهٔ موردی سیلاب کلان شهر اهواز

در فروردین ۱۳۹۸ حدود ۱۴/۵ میلیارد متر مکعب آب از حوضه‌های مولد جریان رودخانه‌ها در بالادست سدهای استان خوزستان وارد مخازن این سدها شد که بخش اعظمی از آن ناشی از بارش‌ها در دو بازه زمانی، یکی از تاریخ ۴ تا ۶ و دیگری از تاریخ ۱۰ تا ۱۲ فروردین بوده است، به طوری که در سیلاب اول حدود ۳/۷ و در سیلاب دوم حدود ۱۰/۱ میلیارد متر مکعب آب وارد مخازن سدها شد. این در حالی است که متوسط بلندمدت حجم آب ورودی به مخازن یادشده در فروردین‌ماه حدود ۵/۱ میلیارد متر مکعب بوده است. متوسط بارش ماه فروردین ۱۳۹۸در حوضه‌های آبریز کرخه و کارون بزرگ ۲۲۸ میلی‌متر بوده است که در مقایسه با متوسط بلندمدت (نرمال) بارش فروردین‌ماه در حوضه‌های آبریز یادشده (۷۵ میلی‌متر) ۲۰۰ درصد و نسبت به متوسط بارش ماه فروردین ۱۳۹۷ (۵۲ میلی‌متر)، ۳۳۸ درصد افزایش داشته است. در شروع سیلاب‌های بهارهٔ سال ۱۳۹۸، حجم خالی سدهای مخزنی برای کنترل سیل حدود ۴/۸ میلیارد متر مکعب به این شرح بوده است: سد دز ۷۴۹، سد کرخه ۱۵۹۶، سدهای کارون ۲۲۴۳، سد مارون ۲۰۱ و سد جره ۲۲ میلیون متر مکعب. بنابراین مابه‌التفاوت حجم جریان ورودی به مخازن در دو سیلاب یادشده و حجم خالی کنترل سیلاب مخازن، معادل ۹ میلیارد متر مکعب، عمدتاً از سدهای دز، گتوند و کرخه به سمت پایین‌دست رهاسازی شد که موجب آب‌گرفتگی در بخش‌های وسیعی از استان شد و برخی از شهرها و مناطق مسکونی را در معرض تهدید قرار داد [۲۱].

در ابتدای سال آبی، پیش‌بینی‌ها و چشم‌اندازی که توسط سازمان هواشناسی کشور ارائه شده بود حکایت از وقوع خشکسالی با این مضمون داشت: «با اینکه بارش فصل پاییز در محدودهٔ نرمال بوده و انتظار می‌رود تأخیری در شروع بارش پاییزه نداشته باشیم؛ اما آینده‌نگری، کاهش بارش فصل زمستان را نسبت به بلندمدت نشان می‌دهد. در مجموع با توجه به کاهش شدید حجم ذخایر آب نسبت به سال گذشته، خشکسالی شدید آب‌شناسی پیش رو است» [۲۲]. علی‌رغم گزارش سازمان هواشناسی، با توجه به تداوم بارش‌ها و تحلیل میزان ورودی‌ها و چشم‌انداز بارشی، سیاست‌های بهره‌برداری از اواسط آذرماه به‌خصوص در حوضه‌های آبریز کرخه و دز تغییر کرد. در ادامه، ضمن تشریح فرایند مدیریت سیلاب، اقدامات انجام‌شده در این خصوص تشریح خواهد شد.

۳-۲. فرایند مدیریت سیلاب از پیش‌بینی بارش تا فروکش کردن سیل

اساس این فرایند (شکل ۱) که از اجزای پیش‌بینی‌های هواشناسی، پیش‌بینی جریان، مدیریت مخزن، روندیابی جریان و مانیتورینگ تشکیل‌شده بر پایهٔ این شعار است که: «هر پدیده و رویدادی را می‌توان با اندازه‌گیری مدیریت کرد» لذا ابتدا داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز آب و هواشناسی در قالب شبکهٔ سنجش احصا و به عنوان ورودی سامانه‌ها، مدل‌ها و نرم‌افزارهای تخصصی استفاده می‌شوند.

۳-۲-۱. پیش‌بینی‌های هواشناسی

اولین گام در فرایند مدیریت سیلاب، پیش‌بینی‌های هواشناسی است. آنچه مسلم است بدون پیش‌بینی از میزان، شدت و محدودهٔ بارش، امکان تخمین رواناب وجود ندارد. بر همین‌اساس، کارشناسان سازمان با استفاده و تحلیل اطلاعات سامانه‌های پیش‌بینی نظیر سامانهٔ پیش‌بینی بارش مؤسسهٔ تحقیقات آب ایران، سامانهٔ تخصصی هیدروکلایمیت و سامانه‌های جهانی، از وضعیت بارش در بازه‌های کوتاه‌مدت (حدود دو هفته) آگاه می‌شوند؛ لذا کلیهٔ رخدادهای بارشی در بازه‌های ۱۵، ۱۰ و ۵ روزه پیش‌بینی و به صورت تجمعی یا موردی در اختیار کارشناسان مربوطه قرار می‌گرفت. شایان یادآوری است بارش‌های رخ‌داده در هفتهٔ اول تا چهارم فروردین ۱۳۹۸ به‌ترتیب ۳۰۶، ۳۱۵، ۶۵ و ۱۷۹ درصد فراتر از نرمال بوده‌اند.

شکل ۱. فرایند مدیریت سیلاب

۳-۲-۲. پیش‌بینی جریان

در گام بعد با استفاده از مدل‌های بارش ـ رواناب، کالیبره و صحت‌سنجی شده با داده‌های مشاهده‌ای، شامل: (۱) سامانهٔ VISTA: پیش‌بینی کوتاه‌مدت و بلندمدت رواناب ورودی به مخازن، (۲) مدل SWAT_KARKHEH: پیش‌بینی جریان ورودی به سد کرخه و محاسبهٔ پتانسیل منابع آب تجدیدپذیر، (۳) مدل MIKE NAM: مدل بارش ـ رواناب و شبیه‌سازی ذوب برف و (۳) مدل HEC HMS: مدل بارش ـ رواناب برای تمامی حوضه‌ها، مقدار رواناب ناشی از بارش محاسبه و زمان رسیدن به مخزن تخمین زده می‌شد. کارشناسان مربوطه به صورت شبانه‌روزی مدل‌های مختلف پیش‌بینی جریان را اجرا و نتایج را با متخصصان دانشگاهی و میدانی تحلیل می‌کردند. حجم سیلاب ورودی به منطقهٔ خوزستان در فروردین ۱۳۹۸ حدود ۱۸۲ درصد بیشتر از متوسط ورودی بلندمدت سال‌های نرمال بوده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌داد چنانچه حجم جریان‌های ورودی مدیریت نشود، قسمت اعظم خوزستان زیر آب خواهد رفت که نتیجهٔ آن خسارت‌های شدید مالی و انسانی خواهد بود (جدول ۱).

جدول ۱. حجم سیلاب ورودی به خوزستان در فروردین ۱۳۹۸

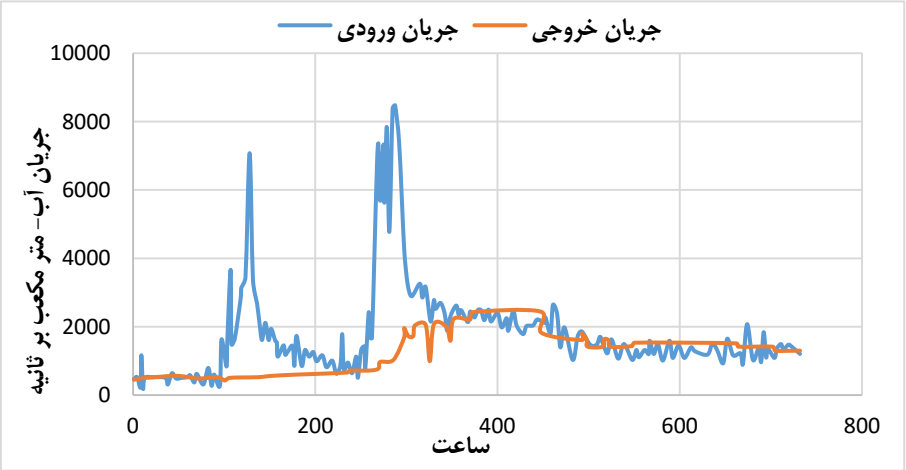
مشخصه	دز	کرخه	کارون	مارون	جره	مجموع
سیلاب اول (mcm)	۱۰۹۳	۷۷۸	۱۵۵۷	۲۷۳	۱۲	۳۷۴۸
سیلاب دوم (mcm)	۳۱۰۴	۳۷۲۸	۲۸۶۴	۳۴۹	۲۵	۱۰۰۵۱
مجموع (mcm)	۴۱۹۷	۴۵۰۶	۴۴۲۱	۶۲۲	۳۷	۱۳۷۸۳
حداکثر لحظه‌ای سیلاب اول (cms)	۶۰۰۹	۷۰۷۵	***	۲۶۳۰	۲۳۳	***
حداکثر لحظه‌ای سیلاب دوم (cms)	۵۰۸۷	۸۴۷۷	***	۵۱۲	۲۲	***
حداکثر روزانهٔ سیلاب اول (cms)	۴۱۵۸	۳۱۸۰	۷۶۹۰	۱۶۵۵	۵۶	***
حداکثر روزانهٔ سیلاب دوم (cms)	۴۰۱۹	۵۹۰۹	۲۷۱۰	۳۳۲	۱۷	***

۳-۲-۳. مدیریت مخزن

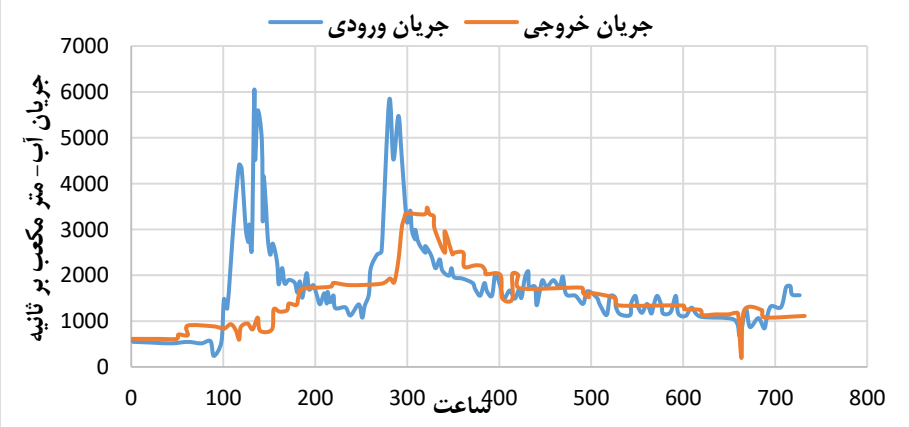
در این مرحله با استفاده از مدل‌های روندیابی جریان در مخزن و تجربیات کنترل پایداری سدهای بتنی و خاکی و قضاوت‌های کارشناسی مبتنی بر تجربیات اعضای شورای مشورتی شامل کارشناسان شرکت‌های مشاور بومی در استان خوزستان، اساتید دانشگاه و کارشناسان خبره بهره‌برداری سدها مشخص می‌شد که چه مقدار از سیلاب ورودی و تا چه ترازی در مخزن سد ذخیره و چه حجمی از سیلاب باید از مخزن سد خارج شود. لازمهٔ این کار اطلاع لحظه‌ای از وضعیت مخازن سدها در شروع و حین سیلاب (افزایش ورودی آب به مخازن و افزایش تراز سطح آب مخازن) بوده است (جدول ۲). متخصصان با استفاده از مدل‌های روندیابی و تجربیات تخصصی (مدیریت ریسک) و بر اساس ظرفیت خالی مخازن سدها و میزان تاب‌آوری رودخانه‌های پایین‌دست (ظرفیت آب‌گذری یا دبی ایمن رودخانه)، سناریوهای مختلفی را پیشنهاد و در اختیار مدیران ارشد قرار دادند تا بر اساس آن مقدار دبی خروجی از مخازن سدها رهاسازی شود. در شکل‌های ۲ ـ ۴ دبی تنظیمی خروجی از سدها در مقایسه با دبی ورودی به مخزن که بر اساس فعالیت‌های یادشده در بخش مدیریت مخزن حاصل شد، نشان داده شده است.

جدول ۲. منابع آبی استان خوزستان در شروع سیلاب

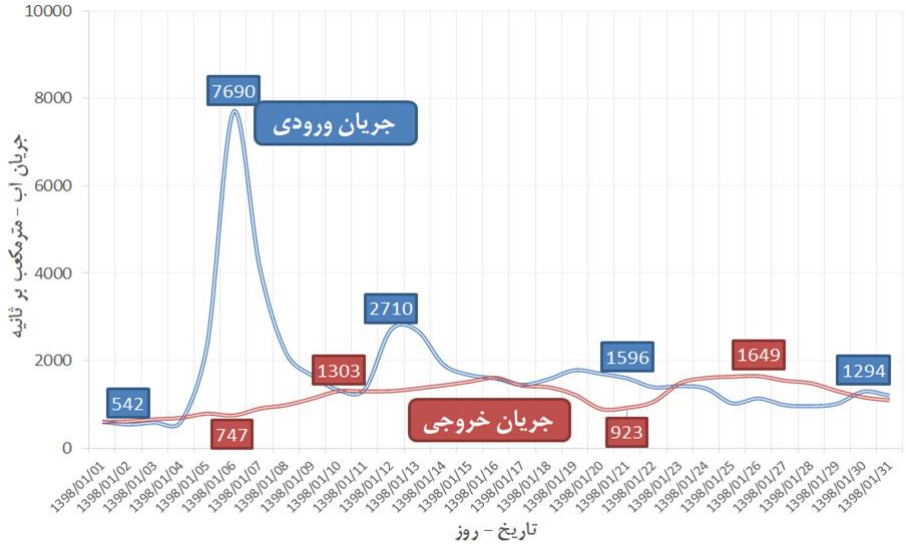
مشخصه	دز	کرخه	کارون	مارون	جره	مجموع
ارتفاع (متر)	۳۳۸.۸۷	۲۱۶.۳۶	**	۴۹۶.۳۸	۴۸۵.۹۵	**
میزان ورودی از ابتدای سال آبی (mcm)	۵۹۶۷	۵۵۷۲	۷۶۰۳	۱۱۸۹	۱۳۶	۲۰۴۶۷
میزان خروجی از ابتدای سال آبی (mcm)	۵۳۱۷	۳۴۶۰	۳۹۶۹	۴۹۱	۶۹	۱۳۳۰۶
حجم خالی کنترل سیلاب (mcm)	۷۴۹	۱۵۹۶	۲۲۴۳	۲۰۱	۲۲	۴۸۱۱



شکل ۲. مدیریت آب ورودی ساعتی به سد کرخه و تنظیم مقدار جریان خروجی جهت مدیریت سیلاب



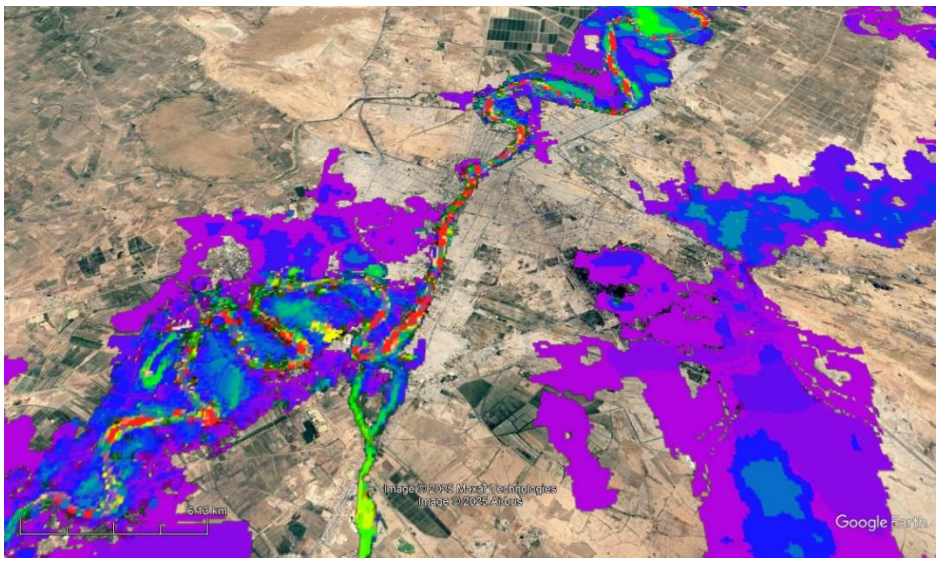
شکل ۳. مدیریت آب ورودی ساعتی به سد دز و تنظیم مقدار جریان خروجی برای مدیریت سیلاب



شکل ٤. مدیریت آب ورودی ساعتی به سد کارون و تنظیم مقدار جریان خروجی برای مدیریت سیلاب

۳-۲-۴. مدل‌سازی جریان در پایین‌دست سدها

پس از آنکه حداکثر دبی خروجی از سد بر اساس تصمیمات شورای مشورتی با در نظر گرفتن شرایط ایمنی سد و نیروگاه، و شاخص‌های تاب‌آوری رودخانه در پایین‌دست مشخص شد، هیدرودینامیک جریان رودخانه بر اساس مدل دوبعدی MIKE FLOOD، با هدف تهیهٔ نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب و با استفاده از تجارب گذشته، مدل‌سازی می‌شود. در این مدل‌سازی پاسخ بسیاری از سؤالات از جمله اینکه؛ حداکثر دبی رهاسازی در چه زمانی به کدام نقطه می‌رسد؟ و یا، با تغییر هندسه (حذف یا اضافه کردن سیل‌بندهای خاص)، چه مقدار انحراف یا افزایش جریان رودخانه را خواهیم داشت؟، مشخص می‌شود. به بیان دیگر، زمان پیمایش جریان از سد تا نقاط مورد نظر مشخص می‌شود تا در آن بازه زمانی بتوان هشدارها و اقدامات لازم را از طریق زیرمجموعه‌های وزارت کشور (استانداری، شهرداری‌ها، فرمانداری‌ها)، و سایر نهادهای دولتی و غیردولتی انجام داد. در این مدل‌سازی‌ها، حداکثر آب‌گذری در نقاط گلوگاهی و پهنه‌های سیلابی مشخص می‌شود که طی آن‌ها می‌توان میزان آب‌گرفتگی و خسارت‌ها در پایین‌دست را برآورد کرد. در شکل ۵، نمونه‌ای از نقشهٔ پهنه‌بندی دوبعدی سیلاب رودخانهٔ کارون در محدودهٔ شهر اهواز ارائه شده است.



شکل ۵. پهنه‌بندی سیلاب ۶ هزار متر مکعب در ثانیه در رودخانهٔ کارون با تمرکز بر محدودهٔ جغرافیایی شهر اهواز

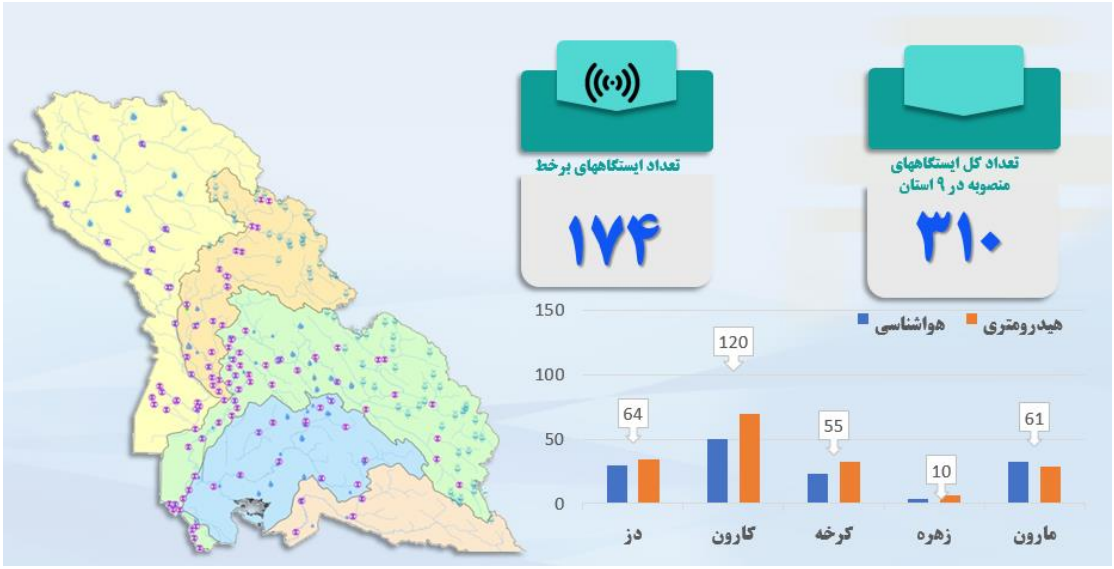
۳-۲-۵. مانیتورینگ، اطلاع‌رسانی و مدیریت سیلاب در قالب میزهای تخصصی، قبل، حین و بعد از سیلاب

با استفاده از خروجی گام‌های قبل، مقدار دبی سیلابی که در زمان‌های مختلف به نقاط مهم رودخانه می‌رسد مشخص شده و سطح بحران توسط کارگروه‌های تخصصی و مدیریت بحران استان تعیین و اعلام می‌شود. چنانچه خروجی مدل‌ها، ورود سیلاب به داخل محدودهٔ شهری را نشان بدهد، بلافاصله جلساتی با حضور مدیریت بحران استانداری، شورای مشورتی متشکل از اساتید و متخصصان مربوطه، شهرداران مناطق، سازمان هواشناسی، معاونت امنیتی استانداری، جهاد کشاورزی، کمیته‌های تخصصی، شرکت آب منطقه‌ای و غیره تشکیل شده و با استفاده از داده‌های زمان‌واقعی شبکهٔ سنجش آب و هواشناسی، نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب، تصاویر ماهواره‌ای (نظیر سنتینل)، عکس‌های هوایی و تصویربرداری پهپادی و سایر مستندات مربوطه اقدام به سناریوسازی و تصمیم‌گیری برای انجام اقدامات بعدی گرفته می‌شد. کلیهٔ فعالیت‌های پیش‌گفته در قالب میزهای تخصصی نظیر شکل ۶ انجام می‌شود. هنگام سیلاب، متخصصان مهندسی رودخانه نقاط مستعد ورود سیلاب به نواحی شهری را مشخص کردند و بر اساس نتایج مدل‌ها و یا اطلاعات دریافتی از تصاویر هوایی دستورات لازم برای تقویت و افزایش ارتفاع سیل‌بندهای حفاظتی صادر می‌شد. در ادامه، بر اساس ساختار سیستم مدیریت/ فرماندهی بحران۱ سازمان آب و برق خوزستان و ماتریس مسئولیت‌ها۲ برنامهٔ اقدام تیم‌های عملیاتی مدیریت سیلاب مشخص می‌شد [۲۳]. طی زمان بحران کلیهٔ داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز توسط واحدهای مختلف تهیه و در کارگروه‌ها مطرح و تحلیل‌های لازم ارائه می‌شد.

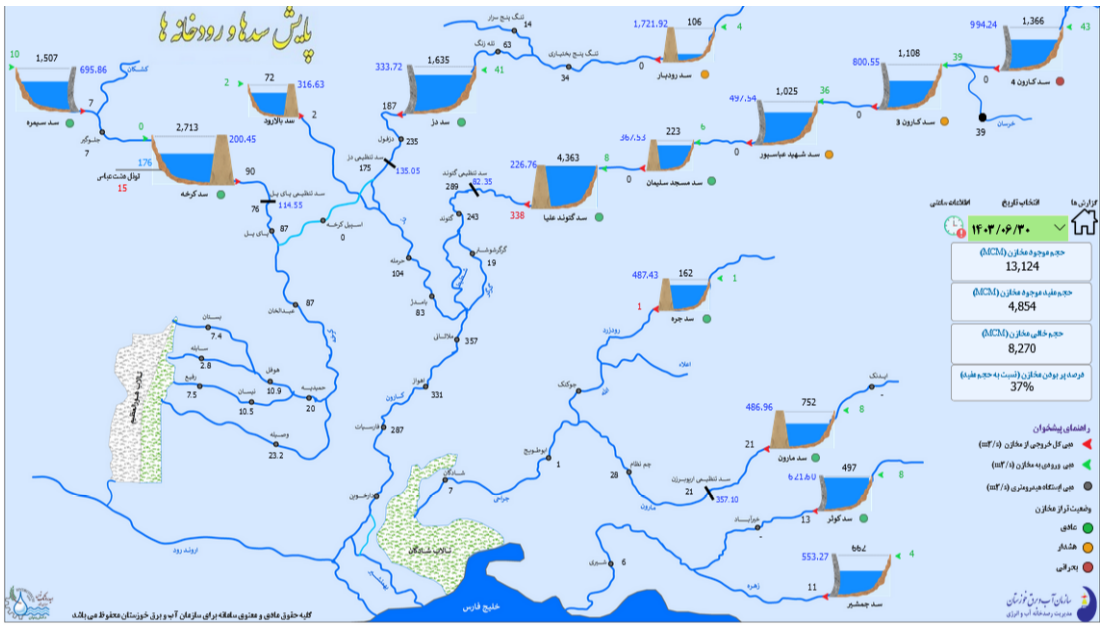
شکل ٦. نمونه‌ای از میزهای تخصصی

داده‌های آب و هواشناسی از طریق شبکهٔ سنجش متشکل از ۳۱۰ ایستگاه که در سطح ۹ استان جانمایی شده (شکل ۷)، در بازه‌های زمانی مورد نیاز با توجه به این اصل مهم که (داده باید اصیل، به‌موقع، به‌اندازه و دقیق باشد) دریافت و پس از صحت‌سنجی از طریق پروتکل‌های استاندارد به پایگاه داده منتقل و به اطلاعات تبدیل می‌شود. پس از آن، کارشناسان متخصص شاخص‌های کلیدی عملکرد۳ را استخراج و با استفاده از پیشخوان‌های تخصصی، آخرین وضعیت منابع آب و انرژی را نمایش می‌دهند. طراحی پیشخوان‌ها (شکل ۸) به گونه‌ای است که در زمان بحران کارشناسان میزهای تخصصی داده‌های خام و اطلاعات توصیفی طول آمار را در قالب نمودارهای مقایسه‌ای، توصیفی و تحلیلی در اختیار شورای مشورتی قرار می‌دهند.

1. Incident Command/management System (ICMS)
2. RACI Chart
3. Key Performance Indicator (KPI)



شکل ۷. ایستگاه‌های رصد و پایش منابع آب استان خوزستان



شکل ۸. پیشخوان سدها و رودخانه‌ها

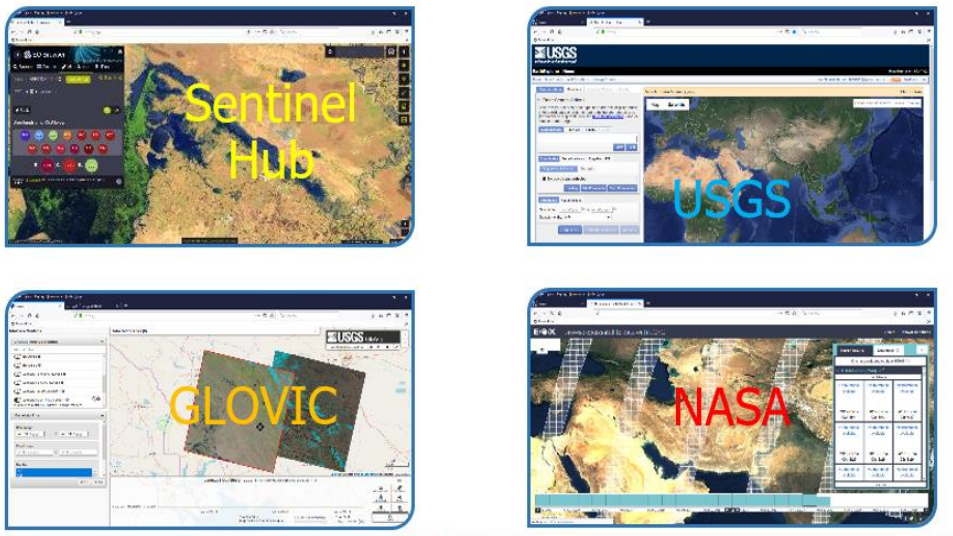
۳–۳. مدیریت سیلاب در پایین‌دست سدها و در محدودهٔ کلان شهر اهواز، قبل، حین و بعد از سیلاب

بر اساس خروجی مدل‌ها، مقادیر بارش واقعی، دبی، تراز آب و پهنه‌های سیلابی، زیر آب رفتن بخش زیادی از شهر اهواز قابل تصور بود. لذا از دی‌ماه در بازه‌های زمانی قبل، حین و بعد از سیلاب، ضمن اعلان هشدار مطابق جدول ۳، فعالیت‌ها و اقداماتی در قالب میزهای تخصصی، به شرح ذیل انجام گرفت.

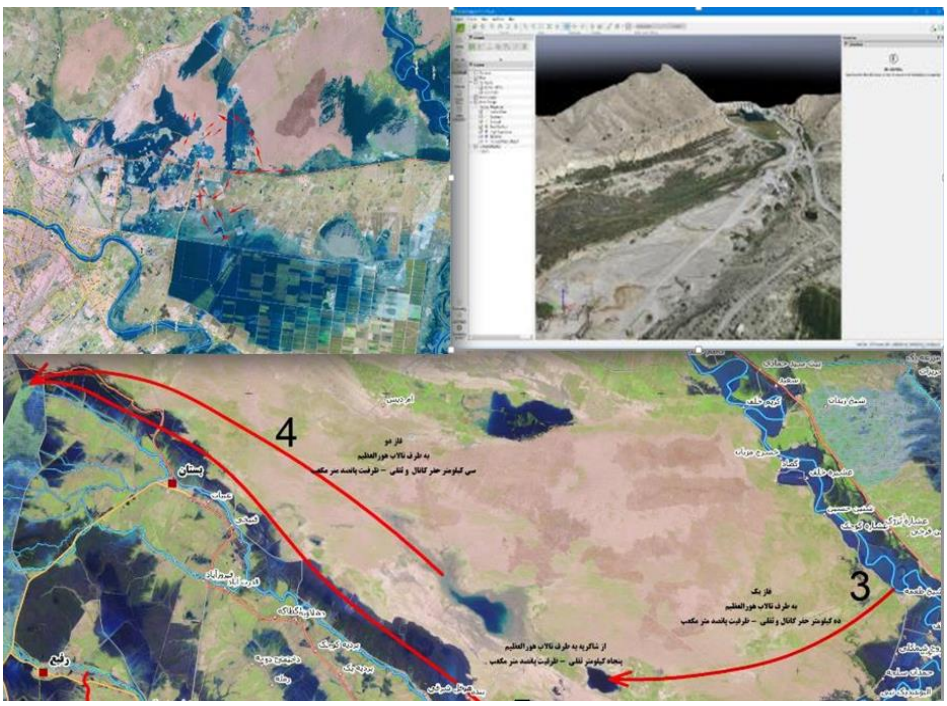
- مدل‌سازی پهنه‌بندی سیلاب در محدوده‌های مد نظر با سناریوهای خروجی محتمل از مخازن سدها
- تولید نقشهٔ خطرپذیری سیل، با استفاده از خروجی مدل‌های ریاضی، تصاویر ماهواره‌ای، تصاویر اپتیک، داده‌های رادار
- استفاده از سایت‌های تخصصی (شکل ۹) جهت رصد و پایش آخرین وضعیت پخش و گسترش سیلاب
- یافتن مسیرهای تازه و بی‌خطر برای هدایت و تخلیهٔ ایمن سیلاب با استفاده از اطلاعات میدانی، مدل‌سازی ریاضی، تصاویر هوایی پهپادی و عکس‌های ماهواره‌ای (شکل ۱۰)

جدول ۳. بخشی از اقدامات انجام‌شده در قالب میزهای تخصصی در زمان سیلاب

ردیف	نوع اقدام	تعداد
۱	صدور هشدارهای درون ساختاری در سیلاب‌های سال آبی ۱۳۹۷ ـ ۱۳۹۸	۱۰۰
۲	صدور هشدارها و نامه‌های پیش‌بینی شرایط هیدرولوژیکی و اقدامات مورد نیاز سایر سازمان‌ها و تصمیم‌گیران ارشد استان با محوریت حوضه‌های آبریز کارون، کرخه و دز	۱۰
۳	برگزاری جلسات شورای مشورتی مدیریت سیلاب به ریاست معاون وزیر نیرو	۲۴جلسه و روزانه
۴	به‌کارگیری مدل‌های عددی پیش‌یابی هواشناسی در سطح حوضه‌های آبریز	روزانه ۴ نوبت
۵	اجرا و به‌کارگیری مدل‌های پیش‌بینی جریان ورودی و منابع آبی	روزانه
۶	حضور مستمر اعضای شورای مشورتی در رصدخانهٔ آب و انرژی و مدیریت تطبیقی شرایط بر اساس آخرین اطلاعات دریافتی	به طور مستمر و ۲۴ساعته
۷	هماهنگی کامل با تمام واحدهای سازمانی و مراکز تصمیم‌گیری استانی نظیر استانداری، فرمانداری، شهرداری، نیروهای نظامی و امنیتی، مدیریت بحران	به طور مستمر در زمان سیلاب



شکل ۹. پایش پهنهٔ سیلاب با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و راداری



شکل ۱۰. نمونه مسیرهای انحراف سیلاب، برای کاهش ورود سیلاب به مناطق جمعیتی

- تعیین نقاط بحرانی و نواحی جمعیتی در معرض خطر آب‌گرفتگی با سناریوهای مختلف رهاسازی آب از سدها از طریق انجام توپوگرافی دقیق، مدل‌سازی دوبعدی، کالیبره کردن مدل رقومی زمین (شکل ۱۱)
- تدقیق زمان پیمایش[1] سیلاب با دبی‌های مختلف با استفاده از مدل‌های تخصصی و تجارب سیلاب‌های رخداده
- لایروبی اطراف پایه‌های پل‌ها و رفع گلوگاه‌هایی که احتمال ورود سیل به داخل شهر را افزایش می‌دهد (شکل ۱۲)
- تدقیق تراز حفاظت سیلاب برای سیل‌بندهای خارج از محدوده یا داخل شهر

شکل ۱۱. بازه‌های بحرانی برای دبی ۳۵۰۰ متر مکعب در ثانیه در بخشی از بازهٔ شهر اهواز

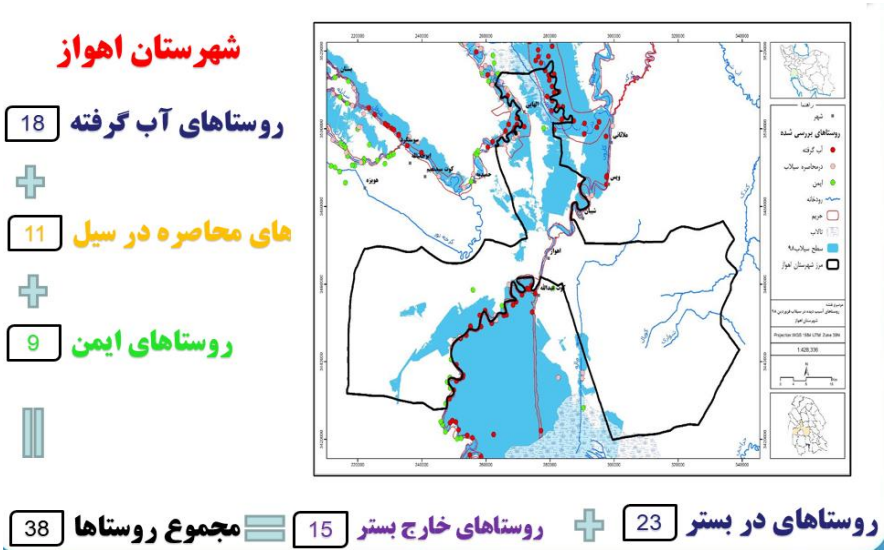
شکل ۱۲. پل‌ها به عنوان گلوگاه‌های گذردهی سیلاب رودخانه از میان شهر اهواز

به منظور انجام موارد یادشده جلسات مداومی در سطوح کارشناسی و مدیریتی، با حضور عالی‌ترین مقامات تشکیل می‌شد. بر اساس اطلاعات و پایش‌های میدانی و نظرات تخصصی کارشناسان، اقدامات لازم برای افزایش تراز سیل‌بندهای حفاظتی یا تقویت آن‌ها انجام می‌گرفت. خروجی مدل‌ها نشان می‌داد چنانچه مدیریت درستی صورت نپذیرد، احتمال عبور دبی بالای ۵ هزار

1. Travel Time

مترمکعب بر ثانیه در مقطع شهر اهواز وجود دارد، ولی استفادهٔ مؤثر از داده، اطلاعات و خروجی مدل‌ها در کنار تحلیل صحیح سناریوهای مختلف باعث شد حداکثر دبی عبوری در مقطع شهر اهواز از ۳۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه تجاوز نکند (شکل ۱۳). اگر دبی از ۳۲۰۰ متر مکعب بر ثانیه عبور می‌کرد سیلاب وارد مناطق مسکونی شهر می‌شد. این در حالی بود که بر اساس مدل‌های ریاضی و شواهد میدانی در صورت عدم اجرای اقدامات پیش‌گفته، دبی عبوری در مقطع اهواز از ۵ هزار مترمکعب بر ثانیه عبور می‌کرد و خسارت‌های فراوان مالی و انسانی به بار می‌آورد.

پس از پایان سیلاب و آب‌گرفتگی که تا حدود یک ماه ادامه داشت، اقداماتی نظیر لایروبی، افزایش تراز خاکریزهای حفاظتی، افزایش ظرفیت سیلاب‌برها در دستور کار قرار گرفت. در این شرایط اجتناب از طولانی شدن تخلیهٔ سیلاب از سیلاب‌دشت‌ها تأثیر روانی مناسبی بر روحیهٔ مردم و ساکنان مناطق آب‌گرفتگی ایجاد می‌کرد.



شکل ۱۳. مناطق سیل‌گرفته با دبی ۳۲۰۰ متر مکعب در ثانیه در بازه شهرستان اهواز

۴. نتیجه‌گیری

استفادهٔ مؤثر از داده‌ها و اطلاعات ایستگاه‌های سنجش آب و هواشناسی، عکس‌ها و تصاویر هوایی و ماهواره‌ای، پایش لحظه‌ای سیلاب از محل خروجی سدها تا زمان رسیدن به مراکز جمعیتی، استفاده از مدل‌ها و سامانه‌های پیش‌بینی بارش و مدل‌سازی جریان، استفادهٔ بهینه از نظرات کارشناسی و تجارب افراد خبره طی یک فرایند مشخص و تعریف شده، نقش مهمی در مدیریت سیلاب فروردین ۱۳۹۸ داشته است. شایان یادآوری است علی‌رغم بزرگی و شدت سیلاب فروردین ۱۳۹۸، مدیریت سیلاب در استان خوزستان بدون تلفات انسانی انجام شد، در حالی که در سیلاب‌های هم‌زمان که با شدت بسیار کمتر در آق‌قلا (استان گلستان)، خرم‌آباد و پل‌دختر (استان لرستان) رخ داد، متأسفانه تلفات انسانی به همراه داشت.

تجربهٔ سیل فروردین ۱۳۹۸ نشان داد علی‌رغم وجود چند سد مخزنی در بالادست، خطر وقوع سیلاب در محدودهٔ کلان‌شهر اهواز همچنان وجود دارد. همچنین، علی‌رغم انجام اقدامات سازه‌ای، ممکن است پذیرش بخشی از ریسک آب‌گرفتگی منطقی باشد تا بتوان نقاط غیرمسکونی را به عنوان مناطق تسکین سیل در نظر گرفت.

انجام کارهای بعد از سیل نظیر ترفیع جاده‌های ساحل رودخانه در بخشی از شهر که تراز آن پایین بود و در نظر گرفتن آن به عنوان خاکریز حفاظتی، ترفیع سواحل رودخانه در محدودهٔ پل‌ها برای جلوگیری از آب‌گرفتگی جاده‌های ساحلی در زمان تردد ماشین‌آلات، صدور مجوزهای مربوط به ساخت‌وساز مشروط به رعایت ترازهای ارتفاعی مطابق سیلاب با دورهٔ بازگشت ۲۰۰ساله معادل جریان با دبی ۵ هزار متر مکعب بر ثانیه یا ایجاد تمهیداتی برای کنترل سیل، از جمله اقدامات ضروری پس از پایان سیل هستند.

مشارکت مردم به عنوان ذی‌نفع اصلی در مقابل وقوع سیل، بزرگ‌ترین عامل موفقیت یا شکست در شرایط وقوع سیل است که جلب مشارکت آن‌ها از طریق تدوین دستورالعمل‌های خاص امکان‌پذیر است.

به دلیل ضعف عملیاتی در زمینهٔ بیمهٔ سیل و پادسیل‌سازی که هم هزینه‌های دولت و هم ریسک دخل و تصرف در سیلاب‌دشت را کاهش می‌دهد، پیشنهاد می‌شود مسئلهٔ بیمه سیل و سازوکار اعمال آن در دستور کار جدی قرار گیرد. همچنین، پیشنهاد می‌شود شرح وظایف اورگان‌های دولتی مشخص و تفکیک شود تا امکان استفاده از ظرفیت دستگاه‌های معین برای تمام نقاط در معرض خطر استان به‌خصوص شهرها فراهم شود.

سایر پیشنهادها به شرح ذیل هستند:

- به‌روزرسانی نظام‌نامهٔ سیلاب با هماهنگی و تعامل بین کلیهٔ دستگاه‌های اجرایی
- تهیهٔ ماتریس شرح وظایف و تقسیم کار بین عوامل اجرایی، به منظور پیشگیری از تداخل کارها و اطمینان از انجام به‌موقع و صحیح امور محول‌شده
- هوشیاری مدیریت بحران و برگزاری مانور سیلاب در بازه‌های زمانی مشخص، به منظور ایجاد آمادگی‌های لازم
- اطمینان از بانک ماشین‌آلات مورد نیاز
- به‌روزرسانی و تجهیز سیستم‌های پیش‌بینی و هشدار نظیر تقویت سامانه‌های پیش‌بینی بارش، تجهیز و تقویت شبکهٔ سنجش آب و هواشناسی، به‌روزرسانی مدل‌ها و سامانه‌های تخصصی و تقویت بدنهٔ کارشناسی
- به‌روزرسانی سیستم‌های بیمه، فرهنگ‌سازی و الزام ذی‌نفعان برای استفاده از صنعت بیمه، الزام بانک‌ها به برآورد و پرداخت به‌موقع خسارت‌ها
- به‌روزرسانی قوانین مرتبط با ساخت‌وسازها توسط سازمان نظام مهندسی و الزام ذی‌نفعان به پیش‌بینی و ایمن‌سازی ساختمان‌هایی که در معرض سیل قرار دارند.
- استفاده از نتایج اجرای مدل پخش سیلاب با دبی‌های ایمن به منظور شناسایی نقاط آب‌گرفته‌شده
- ایمن‌سازی روستاها (ترمیم و ترفیع دایک‌ها، احداث رینگ حفاظتی، ترفیع رقوم کف منازل)
- مدیریت سیلاب‌دشت‌ها، شناسایی نقاط امن و خطرپذیر بر اساس مطالعات پهنه‌بندی سیلاب
- تهیه و دپوی مصالح در نقاط خطرپذیر برای شرایط اضطرار
- ایجاد سازوکار لازم برای ترمیم و بازسازی سازه‌های مهندسی رودخانه (تثبیت سواحل، سیل‌بند و میان‌بر) در شرکت‌های آب منطقه‌ای
- اطلاع‌رسانی به‌موقع به عموم در زمینهٔ خروجی سدها و وضعیت پخش سیل و میزان خطرپذیری آن و مدیریت فضای مجازی
- الزام مسئولان شهری و روستایی برای اجرای طرح‌های پادسیل‌سازی به منظور دبی‌های سیلابی بالاتر از دورهٔ بازگشت‌های طراحی
- مستندسازی سیل (ایجاد و آموزش یک اکیپ جهت تهیهٔ مستند در زمان سیلاب)
- شناسایی مداوم نقاط خطرپذیر، موانع، انسدادها و اطمینان از هدایت مطمئن جریان به سمت پایین‌دست و مسیر انحراف سیل
- استفاده از رویکرد جدید هوش مصنوعی، یادگیری عمیق[1]، اینترنت اشیا، شبکه‌های عصبی[2]، دوقلوهای دیجیتال[3] و غیره در پیش‌بینی، پایش و مدیریت سیلاب شهری

تشکر و قدردانی

به این‌وسیله از مؤسسهٔ آموزش عالی علمی ـ کاربردی شهرداری تهران و مدیریت نوآوری، توسعهٔ فناوری و پژوهش‌های کاربردی سازمان آب و برق خوزستان به دلیل حمایت از چاپ مقاله در فصلنامهٔ *سیاستگذاری پیشرفت شهری* تشکر و قدردانی می‌شود.

1. Deep Learning
2. Neural Networks
3. Digital Twins

منابع

1. Sardashti M. and Soltani S. The role of flood management in sustainable urban development. National Conference on Urban Flood Management; 2010 Aug; Tehran. *[Persian]*
2. Arab D. Report on the trend of growth in flood damage amounts in recent decades. Tehran; 2016. *[Persian]*
3. Ministry of Energy. Flood Management Regulations. Tehran: Rahbord Danesh Pooya Engineering Research Institute; 2021. *[Persian]*
4. Khuzestan Water and Power Authority. Request for Proposal (RFP) for the study and implementation of water and energy observatory infrastructure. Ahvaz: The Authority; 2020. *[Persian]*
5. Ghaffari A. and Soltani N. Planning for flood response in urban areas. Crisis management. 2016;8(3), 56-67. *[Persian]*
6. Shirzadi, et al. Urban flood susceptibility mapping using deep and machine learning algorithms as a management tool: A case study of Sanandaj City, Iran. Ecological Indicators. 2025;178, 113886
7. Wang, et al. Understanding the Use of Heterogenous Data in Tackling Urban Flooding: An Integrative Literature Review. Water. 2022;14(14), 2160.
8. Stevens, et al. Predicting the impact of urban flooding using open data. Royal Society Open Science. 2016;3(5), 160013.
9. Escarameia, et al. Quantifying the flood resilience properties of walls in typical UK dwellings. Building Services Engineering Research and Technology. 2007;28(3), 249-263.
10. Golz, et al. Assessing the effects of flood resilience technologies on building scale. Urban Water Journal, 2015;12(1), 30-43.
11. Jha, et al. Urban flood management: a comprehensive review. World Bank Report; 2012.
12. Zhou, et al. Urban flood modeling using deep learning: a review. Water. 2019;11(12), 2550.
13. Dong, et al. A comprehensive review of urban flood resilience assessment. Journal of Hydrology. 2020;590, 125225.
14. Baitullah Al Amin M, Sujono J and Triatmadja R. Urban Flood Mitigation by Implementing LIDs (Case Study: Bendung Watershed in Palembang City). Journal of Water Management Modeling. 2024; DOI: https://doi.org/10.14796/JWMM.C526.
15. García-Pérez et al. Advanced Modeling of Flash Floods in Mediterranean Urban Areas Using High-Resolution Data. Water Resources Research. 2022; DOI:10.1029/2022WR030845.
16. Walaa SE and Nada A. Practical Steps for Urban Flood Risk Mitigation Using Nature-Based Solutions, A Case Study in New Cairo, Egypt. Land 2025;14(3), 586.
17. García-Pérez et al. Advanced Modeling of Flash Floods in Mediterranean Urban Areas Using High-Resolution Data. Environmental Science & Policy. 2022; DOI:10.1029/2022WR030845.
18. Rani, et al. Urban Flood Risk Management Based on Asset Life Cycle Method for Drainage System: Case Study Gedebage Area, Bandung, Indonesia. Journal of Environmental & Earth Sciences. 2025;7(6), 91-110.
19. Nasiri A, et al. Urban Flood Zoning Using an Integrated Hydrological-Hydraulic Watershed Modeling Approach, Case Study: Districts 21 and 22 of Tehran. Disaster Prevention and Management Knowledge. 2025;14(4), 392-405.
20. Rossi et al. Integration of IoT Sensors and AI for Real-Time Flood Monitoring in Smart Cities. Sensors. 2022; DOI:10.3390/s22072685.
21. Karimi GH. Technical report on the Dez, Karun, and Karkheh rivers flood (March 2019) in Khuzestan: Perspectives on floodplain inundation management. Ahvaz: Khuzestan Water and Power Authority, Water and Environment Models Office; 2019. *[Persian]*
22. Climate Research Institute, Meteorological Organization. Seasonal forecast report of the country. Tehran: The Institute; 2018 Aug 25. *[Persian]*
23. Khuzestan Water and Power Authority (KWPA). Flowchart of Incident Management System (IMS) and Incident Command System (ICS). Ahvaz: The Authority; 2024. *[Persian]*

Urban Development Policy Making
Home Page: https://judpm.ir
Online ISSN: 3092-6564

Feasibility Study of Reusing Urban Runoff and Treated Municipal Wastewater for Irrigation of Urban Spaces in Tehran

Zohreh Hesami[1] | Seyed Alireza Taheri Riabi[2] | Javad Yahaghi[3*]

1. Ph.D. Graduate, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Iran. E-mail: Zoh_hesami1357@yahoo.com
2. M.Sc Graduate, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Iran. E-mail: seyed.alireza.tehari@gmail.com
3. Corresponding Author, Ph.D. Candidate, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Iran. E-mail: javad.yahaghi@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 28 July 2025
Revised 04 September 2025
Accepted 04 November 2025
Published Online 01 January 2026

Keywords:
Unconventional water resource,
Urban runoff,
Wastewater reuse,
Urban green space of Tehran.

ABSTRACT

Given the population growth and the increasing demand for water, driven by factors such as climate change and evolving consumption patterns, efforts have shifted towards the utilization of unconventional water resources. In this context, the Municipality of Tehran has initiated a project aimed at supplying the water required for irrigating green spaces from surface runoff and treated municipal wastewater. In the present study, the water demand for both urban and peri-urban green spaces in Tehran was first calculated. Subsequently, the potential for utilizing effluent from municipal wastewater treatment plants and runoff flowing through urban channels as an alternative to groundwater resources for irrigating green spaces was examined, taking into account both quantitative (flow rate) and qualitative (effluent analysis) characteristics. Based on the research findings, the Municipality of Tehran can proactively reduce raw water consumption for urban green space irrigation from 73% to 32% over a ten-year period by designing and implementing a comprehensive project for the treatment and reuse of urban runoff and treated municipal wastewater, while increasing the share of runoff and treated wastewater usage from approximately 15.6% to 64%. Furthermore, to further reduce water consumption, methods for aquifer recharge using runoff can be employed for more efficient utilization, along with modifying urban green space development patterns to decrease water demand as additional strategies for water conservation. Ultimately, this initiative has the potential to play a pivotal role in replenishing groundwater resources, thereby providing a more sustainable future for water supply in the city of Tehran.

Cite this article: Hesami, Z.; Taheri Riabi, A. & Yahaghi, J. (2026). Feasibility Study of Reusing Urban Runoff and Treated Municipal Wastewater for Irrigation of Urban Spaces in Tehran. *Urban Development Policy Making*, 3 (1), 19-32.
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.554520.1070

© Zohreh Hesami, Seyed Alireza Taheri Riabi, Javad Yahaghi
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.554520.1070

Introduction

More than two-third of world population is facing water scarcity in present. With the ongoing population growth and the escalating demand for water driven by factors such as climate change and evolving consumption patterns, conventional water resources are increasingly proving inadequate, particularly in arid and semi-arid regions. Consequently, efforts have been directed towards the exploration and utilization of unconventional water resources to alleviate the pressure on traditional water supplies, especially groundwater resources. One effective measure in this context, is replacing the raw water used for irrigation of green spaces with treated wastewater and urban runoff, which are more sustainable. Unconventional water resources offer emerging opportunities to address water shortages in areas where sustainable access to water is unreliable and conventional water resources are

limited. The advantages of treating urban runoff and municipal wastewater for reuse purposes are manifold. Firstly, it enhances the resilience of urban water systems by diversifying water supply sources and reducing vulnerability to climate variability. Secondly, utilizing treated urban runoff and wastewater for the maintenance and development of urban green spaces contributes to improved aesthetic value, enhanced biodiversity, and increased carbon sequestration within cities

Methodology

In the present study, the water demand of urban green spaces (including parks, sides of streets, and forest parks) and green belt in Tehran was initially calculated based on plant species and the area covered, categorized by the 22 districts. Additionally, the amount of water extracted from groundwater sources (including wells and qanats) in the year 1401 (the base year of studies) was calculated. Furthermore, the volume of water available for harvesting from urban surface water-channels was determined based on the flow rate of surface water in these channels, which was calculated according to the width of the channel, water height, and flow velocity in the main water-channels of Tehran. The amount of treated wastewater received from wastewater treatment plants under the supervision of the Ministry of Energy was also estimated. Then, based on the obtained information, the amount of water that could be extracted from the aforementioned four sources was estimated for 3-year and 10-year periods, considering the policy for supplying water needed for irrigating green spaces from unconventional water resources. It is worth mentioning that in calculating all the mentioned figures, the location of water harvesting as well as the location and water needs of adjacent green spaces were taken into account.

Results

According to the Water Scarcity Index published by the United Nations, Tehran is currently experiencing severe water scarcity, utilizing over 80% of its available water resources. To alleviate this situation and reduce water uptake to below 60%, a 30% decrease in current water consumption is necessary. In this regard, the Tehran municipality has the opportunity to supply water for irrigation of urban green space by replacing conventional water sources, such as wells and qanats, with unconventional water resources, including urban runoff and treated wastewater. This study's assessment indicates a substantial potential to decrease dependence on raw water sources by increasing the utilization of treated wastewater from approximately 15.6% to 64%, primarily for irrigation of urban green spaces. This initiative can, not only increase the available water for irrigation from 180 to 250 Mm3/year, but also simultaneously reduce the reliance on well water from 73% to 32% of the total water demand (equal to water saving of 62 Mm3/year) over a ten-year period. This is specially important regarding sustainable supply of water from unconventional water resource which would also help for the prevention and mitigation of land subsidence in Tehran.

Conclusion

This study aims to evaluate the feasibility of substituting conventional water sources, such as groundwater and qanats, with unconventional water resources, including urban runoff and treated wastewater with the objective to reduce the extraction from underground raw water resources. An analysis of the data collected on water consumption in the irrigation of urban green spaces, alongside the availability of urban runoff and treated wastewater, indicates that groundwater extraction could be reduced as a result of Tehran municipality' project by 19 and 62 Mm3/year after 3 and 10 years, respectively. This initiative is not only feasible through the collaboration of relevant organizations but also has the potential to play a crucial role in the replenishment of groundwater resources, thereby promoting a more sustainable future for the city's water supply. Furthermore, implementing additional strategies, such as selecting plant species that are compatible with the local climate, optimizing planting patterns, and employing high-efficiency irrigation techniques like subsurface irrigation, will further contribute to reducing water consumption in the maintenance and development of urban green spaces.

پیشرفت شهری
سیاستگذاری
سایت نشریه: https:// judpmi.ir
شاپا الکترونیکی: ۳۰۹۲-۶۵۶۴

امکان‌سنجی تأمین آب فضای سبز عمومی شهر تهران از طریق بازچرخانی و مدیریت پساب و رواناب‌ها

زهره حسامی[۱] | سید علیرضا طاهری ریابی[۲] | جواد یاحقی[۳*]

۱. دانش‌آموختهٔ دکتری مهندسی محیط زیست - آلودگی هوا، دانشکدهٔ محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: Zoh_hesami1357@yahoo.com
۲. دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد مدیریت محیط زیست - دانشکدهٔ محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: seyed.alireza.taheri@gmail.com
۳. نویسندهٔ مسئول، دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست - مواد زائد جامد، دانشکدهٔ محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: javad.yahaghi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱

کلیدواژه:
منابع آب نامتعارف،
رواناب سطحی،
بازچرخانی پساب،
فضای سبز شهر تهران،
تأمین آب.

چکیده

با توجه به رشد جمعیت و افزایش تقاضا برای آب که از عواملی مانند تغییرات اقلیمی و الگوهای مصرف در حال تحول نشئت می‌گیرد، تلاش‌ها به سمت استفاده از منابع آب نامتعارف معطوف شده است. در این زمینه، شهرداری تهران نیز طرحی به منظور تأمین آب مورد نیاز برای آبیاری فضای سبز از محل رواناب‌های سطحی و فاضلاب شهری تصفیه‌شده اجرا کرده است. در مطالعهٔ حاضر، ابتدا نیاز آبی فضای سبز شهر تهران محاسبه شد. سپس، ظرفیت استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و رواناب‌ها به عنوان جایگزین منابع آب زیرزمینی در آبیاری فضای سبز با در نظر گرفتن نرخ جریان و مشخصات پساب بررسی شد. بر اساس یافته‌های پژوهش، شهرداری تهران می‌تواند در اقدامی پیشگیرانه با طراحی و اجرای یک پروژهٔ جامع برای تصفیه و استفادهٔ مجدد از رواناب‌های شهری و فاضلاب شهری تصفیه‌شده، مصرف آب خام را طی یک دورهٔ ده‌ساله (عمدتاً برای تأمین آب مورد نیاز فضاهای سبز شهری) از ۷۳ درصد به ۳۲ درصد کاهش داده و سهم استفاده از رواناب و فاضلاب تصفیه‌شده را از حدود ۱۵/۶ درصد به ۶۴ درصد افزایش دهد. علاوه بر این، به منظور کاهش هر چه بیشتر مصرف آب، می‌توان از روش‌های تغذیهٔ آبخوان به وسیلهٔ رواناب‌ها برای استفادهٔ بهینه‌تر از آن، و اصلاح الگوی توسعهٔ فضای سبز شهری به منظور کاهش نیاز آبی نیز به عنوان راهکارهای دیگر برای صرفه‌جویی در مصرف آب استفاده کرد. در نهایت، ابتکار حاضر این ظرفیت را دارد که نقش محوری در تجدید منابع آب زیرزمینی ایفا کند و به این‌ترتیب آینده‌ای پایدارتر برای تأمین آب شهر تهران فراهم آورد.

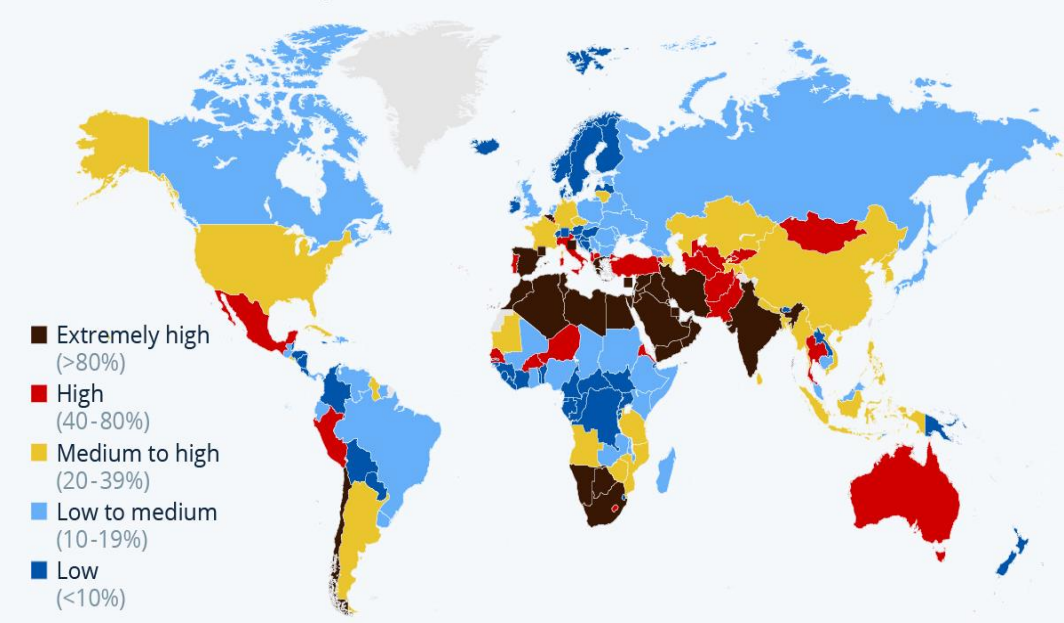
استناد: حسامی، زهره؛ طاهری ریابی، سید علیرضا و یاحقی، جواد (۱۴۰۵). امکان‌سنجی تأمین آب فضای سبز عمومی شهر تهران از طریق بازچرخانی و مدیریت پساب و رواناب‌ها. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۳ (۱) ۱۹-۳۲.

DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.554520.1070

© زهره حسامی، سید علیرضا طاهری ریابی، جواد یاحقی
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.554520.1070

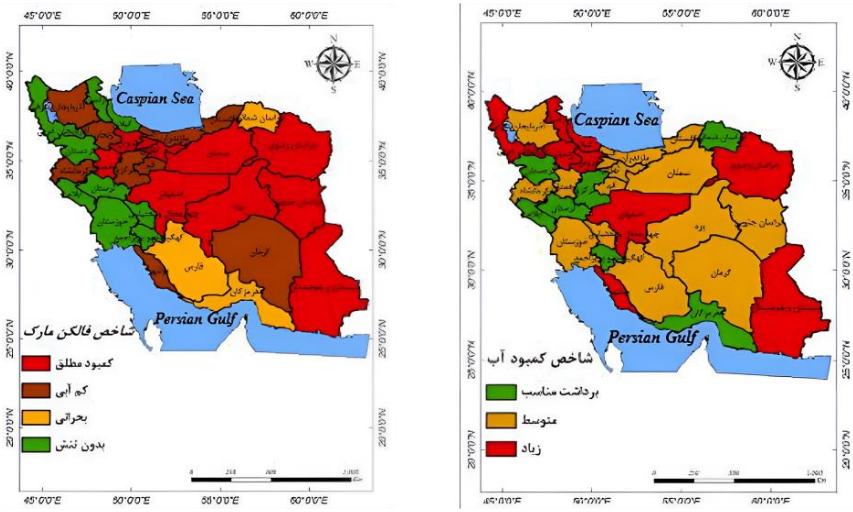
مقدمه

در عصر حاضر، شهرهای جهان با چالش‌های جدی در زمینهٔ مدیریت منابع آبی مواجه هستند. رشد فزایندهٔ جمعیت شهری، تغییرات اقلیمی و کاهش بارندگی‌ها، ضرورت بازنگری در نحوهٔ استفاده از منابع آب را بیش از پیش نمایان ساخته است. بیش از دو سوم جمعیت جهان طی سال حداقل یک ماه با کمبود شدید آب مواجه هستند [۱ و ۲]. در کشورهای خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، این مسئله با شدت بیشتری مواجه است. برای نمونه، در تهران متوسط بارش‌ها با روند نزولی مواجه شده و میزان بارندگی نسبت به آمار درازمدت ۶۲ درصد کاهش یافته است [۳]. همچنین، پیش‌بینی شده است که کشور ایران تا سال ۲۰۵۰ به وضعیت تنش شدید آبی خواهد رسید (شکل ۱) [۴].

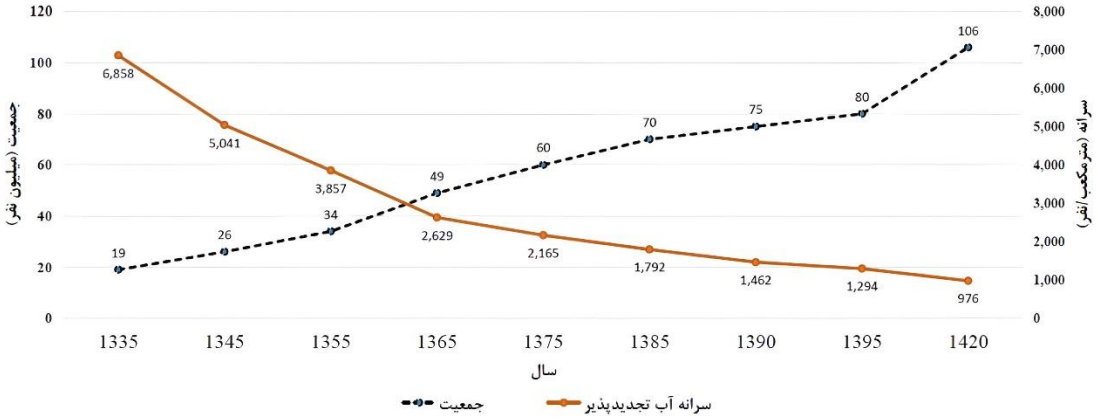


شکل ۱. پیش‌بینی وضعیت تنش آبی در کشورهای جهان بر اساس شاخص تنش آب سازمان ملل (تا سال ۲۰۵۰) [۴]

میزان تنش آبی در مناطق و کشورهای مختلف عموماً بر اساس دو شاخص فالکن مارک و شاخص تنش (بحران) آب سازمان ملل مورد بررسی قرار می‌گیرد (شکل ۲) [۵]. بر اساس شاخص فالکن مارک، در صورتی که مقدار سرانهٔ آب تجدیدپذیر در سال برای یک منطقه یا کشور پایین‌تر از ۱۷۰۰ مترمکعب بر نفر در سال باشد، آن کشور یا منطقه دچار تنش آبی است [۶]. همچنین، برای مقادیر پایین‌تر این شاخص نیز به‌ترتیب وضعیت‌های «کمبود آب» و «فقر آب» تعریف شده است. بر اساس شاخص تنش آب سازمان ملل، مرزبندی تنش آبی بر اساس دو پارامتر سرانهٔ آب در دسترس و میزان برداشت از منابع آب تجدیدپذیر تعریف می‌شود (جدول ۱). به عنوان مثال، منطقه یا کشوری که با سرانهٔ آب در دسترس کمتر از ۲ هزار مترمکعب در سال، بیش از ۴۰ درصد از منابع آب تجدیدپذیر خود را برداشت کند، دچار تنش آبی محسوب می‌شود. شاخص فالکن مارک در کشور ایران در سال ۱۳۹۵ عدد ۱۲۹۴ بوده (وضعیت تنش آبی) و پیش‌بینی شده است که این عدد تا سال ۱۴۲۰ به ۹۷۶ مترمکعب در سال به ازای هر نفر (وضعیت کمبود آب) برسد (شکل ۳) [۷]. همچنین، مجموع منابع آب در دسترس شهر تهران ۴۸۵۴ میلیون مترمکعب است که از این مقدار حدود ۴۲۰۱ میلیون مترمکعب (بیش از ۸۵ درصد) مصرف می‌شود [۸]. لذا با توجه به سرانهٔ ۳۶۶ مترمکعب آب تجدیدپذیر در سال برای شهر تهران، شاخص تنش آب سازمان ملل در تهران در وضعیت تنش آبی شدید به سر می‌برد. این وضعیت، ضرورت یافتن منابع آبی جایگزین را دوچندان می‌کند.



شکل ۲. شاخص فالکن مارک و شاخص تنش آب سازمان ملل در ایران [۶]



شکل ۳. تغییرات میزان سرانهٔ آب تجدیدپذیر (شاخص فالکن مارک) طی سال‌های ۱۳۳۵ تا ۱۴۲۰ [۷]

جدول ۱. مرز تنش آبی بر اساس شاخص تنش آب سازمان ملل متحد

سرانه آب در دسترس (m^3 / copy)	منابع به سالانه آب برداشت متوسط بحرانی نسبت دسترس در آب			
	کمتر از 0.4	0.4 – 0.6	0.6 – 0.8	بیشتر از 0.8
کمتر از 2000	2	3	4	4
10000-2000	1	2	3	4
بیشتر از 10000	1	1	2	4

وضعیت	توصیف وضعیت	نسبت بحرانی متوسط برداشت آب سالانه به مناطق آب در دسترس	سرانه آب در دسترس (متر مکعب بر نفر در سال)
۱	نشاندهنده وجود منابع آبی فراوان و عدم تنش آبی است.	کمتر از ۴۰ درصد	سرانه بیشتر از ۲۰۰۰
۲	این محدوده بیانگر آغاز و آستانه آسیب پذیری می باشد.	کمتر از ۴۰ درصد	سرانه کمتر از ۲۰۰۰
۳	نشانگر تنش و بحران آبی است.	۴۰ تا ۶۰ درصد	سرانه کمتر از ۲۰۰۰
۴	در این بخش تنش آبی کاملاً شدید و جدی است.	بیشتر از ۶۰ درصد	سرانه کمتر از ۲۰۰۰

یکی از محل‌های مصرف آب در نواحی شهری، آبیاری فضای سبز است [۹ و ۱۰]. در حال حاضر، آب مورد نیاز برای آبیاری فضای سبز شهر تهران عمدتاً از محل آب چاه و قنوات تأمین می‌شود. با وجود اینکه میزان مصرف آب در بخش آبیاری فضای سبز در شهر تهران درصد پایینی از کل مصرف آب در شهر تهران را تشکیل می‌دهد، اما با صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری و جایگزین کردن منابع پایدار با منابع فعلی، می‌توان فشار برداشت آب از منابع زیرزمینی از جمله چاه‌ها و قنوات را کاهش داد. لذا در مقالهٔ حاضر، موضوع امکان‌سنجی استفاده از پساب و رواناب به منظور تأمین بخشی از آب مورد نیاز برای آبیاری فضای سبز شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، رویکردهایی از جمله تغذیهٔ آبخوان‌های زیرزمینی با استفاده از رواناب‌ها، استفاده از گونه‌های گیاهی سازگار با اقلیم و اصلاح الگوی کشت که می‌تواند به کاهش مصرف آب و توسعهٔ پایدارتر فضای سبز در محیط شهری منجر شود، مورد بحث قرار گرفته است.

پیشینهٔ تحقیق

افزایش ۶ برابری مصرف جهانی آب شیرین از سال ۱۹۰۰ و مصرف ۷۰ درصد آب مصرفی جهان در بخش کشاورزی سبب کمبود منابع آب شیرین در مناطق شهری و در نتیجه، فشار بر منابع آبی سطحی و زیرسطحی در بسیاری از کشورهای جهان شده است [۱۱]. به عنوان مثال، منابع آب شیرین تجدیدپذیر (جریان‌های رودخانه و آب‌های زیرزمینی ناشی از بارش) اتحادیهٔ اروپا از سال ۱۹۶۲ تا ۲۰۱۸ به میزان ۱۷ درصد کاهش یافته است [۱۲]. این امر باعث شده تا کشورهای مختلف، سیاست‌های خود را در زمینهٔ مصرف آب در مصارف مختلف بازنگری کنند و به دنبال منابع آب جایگزین و مکمل باشند. با افزایش تنش آبی، کاهش دسترسی به آب پایدار به دلیل پدیدهٔ تغییر اقلیم، و افزایش هزینه‌های مربوط به تأمین آب (به‌خصوص در مناطق با اقلیم خشک و نیمه‌خشک) بسیاری از کشورها به دنبال استفاده از منابع آب غیرمتعارف (Unconventional Water Resource) رفتند. بر اساس گفته‌های اودندال (۲۰۰۹)، منابع آبی که به طور سنتی برای تأمین نیازهای آب موجود استفاده نشده‌اند، می‌توانند به عنوان منابع آب غیرمتعارف (UWRs) طبقه‌بندی شوند [۱۲]. برخی از منابع آب غیرمتعارف عبارت‌اند از: ۱) تغذیهٔ مصنوعی؛ ۲) بارورسازی ابرها؛ ۳) شیرین‌سازی آب‌های شور؛ ۴) جمع‌آوری آب شبنم؛ ۵) آب زهکشی کشاورزی؛ ۶) جمع‌آوری آب مه؛ ۷) آب فسیلی؛ ۸) آب خاکستری؛ ۹) یخچال‌تراشی و انتقال یخچال‌ها؛ ۱۰) استحصال آب باران؛ ۱۱) آب مجازی و ۱۲) فاضلاب/پساب تصفیه‌شده. با این‌حال، تمامی این منابع از طریق روش‌های متعارف مانند آب‌های سطحی یا آب‌های زیرزمینی برای مصرف‌کنندگان در دسترس نیستند [۱۳] و به همین‌دلیل پساب تصفیه‌شده و رواناب‌های سطحی متداول‌ترین منابع آب غیرمتعارف در محدودهٔ شهری برای آبیاری فضای سبز است.

یکی از مصارف آب در مناطق شهری، آب مورد نیاز برای آبیاری فضای سبز است. فضای سبز در محیط شهری از جمله المان‌های مهم است [۱۴] که علاوه بر زیباسازی نمای شهری، به افزایش شادابی، سلامت روان و کاهش علائمی همچون استرس، افسردگی و اضطراب در افراد منجر می‌شود [۱۵]. طبق استاندارد سازمان ملل، استاندارد سرانهٔ فضای سبز در مناطق شهری ۹ مترمربع به ازای هر فرد است [۱۶]. کاهش مصرف آب در آبیاری فضای سبز شهری از دو منظر می‌تواند محقق شود: ۱) بهره‌برداری از منابع آب مکمل و غیرمتعارف و ۲) بهینه‌سازی نرخ مصرف آب. در مورد آبیاری فضای سبز [۱۷]. بهره‌برداری از منابع آب مکمل و غیرمتعارف عمدتاً شامل استفاده از پساب تصفیه‌شده و استحصال رواناب‌های سطحی برای آبیاری و توسعهٔ فضای سبز است. از آنجا که فضای سبز شهری حساسیت کمتری نسبت به کیفیت آب دارد، می‌توان با سطح کمتری از تصفیه، آب مورد نیاز و استاندارد برای آبیاری فضای سبز را تأمین کرد [۱۷]. بهینه‌سازی نرخ مصرف آب در آبیاری فضای سبز نیز عمدتاً شامل به‌کارگیری روش‌های آبیاری با بازدهی بالا، استفاده از گونه‌های گیاهی متناسب با اقلیم و اصلاح الگوی کشت و توسعهٔ فضای سبز شهری است. استفاده از روش‌های یادشده، نه تنها می‌تواند فشار مصرف بر منابع آب خام و متعارف از جمله آب‌های زیرزمینی و سطحی را کاهش دهد، بلکه می‌تواند نگهداشت و توسعهٔ فضای سبز شهری را به گونه‌ای پایدارتر تضمین کند. این راهبرد دارای مزایای محیط زیستی (از جمله کاهش استخراج آب‌های شیرین، تغذیهٔ آبخوان، کنترل رواناب) و اقتصادی (کاهش هزینهٔ تأمین آب) است، اما چالش‌هایی در زمینه‌های بهداشتی (مانند آلودگی میکروبی و پاتوژن‌ها)، آلودگی شیمیایی (از طریق نمک‌ها، فلزات سنگین، داروها) و مدیریتی (قوانین محدودکننده، پذیرش اجتماعی) نیز به همراه دارد [۱۷].

مروری بر تجربیات داخلی و خارجی

استفادهٔ مجدد از پساب تصفیه‌شده به عنوان یک راه‌حل پایدار و نوآورانه برای کمبود جهانی منابع آب در حال ظهور است. بررسی تجربیات کشورهای دیگر در شرایط کم‌آبی نشان داده است که با افزایش تقاضای آب به دلیل رشد جمعیت، تغییر سبک زندگی، توسعهٔ شهری و صنعتی و نرخ سریع تغییرات اقلیمی، دیگر استفاده از منابع آب خام یا شرب برای آبیاری فضای سبز توجیهی نداشته و بسیاری از شهرداری‌ها به سمت بهره‌برداری از منابع آب غیرمتعارف (UWRs[1]) به جای منابع آب متعارف (CWRs[2]) حرکت کرده‌اند [۱۳]. یکی از منابع نامتعارف برای تأمین آب مورد نیاز برای آبیاری فضای سبز شهری، استفاده از پساب و رواناب‌های تصفیه‌شده است [۱۸]. به عنوان مثال، در تیخوانا (مکزیک) که منطقه‌ای خشک است، فاضلاب ۵۲ هکتار منطقهٔ مسکونی (تولیدشده توسط ۶۱۹۳ نفر و ۱۵۳ کسب‌وکار کوچک) در یک سیستم تصفیهٔ فاضلاب غیرمتمرکز تصفیه، و پساب تصفیه‌شده برای آبیاری فضاهای سبز شهری استفاده می‌شود [۱۹]. علاوه بر این، Schwecke و همکاران (۲۰۰۷) امکان بهره‌برداری پایدار از بازچرخانی آب‌های سطحی شهری برای آبیاری زمین گلف منلی در استرالیا را ارزیابی کردند. در مطالعهٔ یادشده مشخص شد که فقط پارامترهای نیتروژن و فسفر در رواناب‌ها بالاتر از حد استاندارد بودند، که برای حذف آن از روش تالاب مصنوعی استفاده شد [۲۰]. در چین، استفادهٔ مجدد از آب‌های خاکستری به عنوان یک استراتژی کلیدی برای صرفه‌جویی در آب پذیرفته شده و از دههٔ ۱۹۸۰ پیشرفت‌های قابل توجهی داشته است. پس از پروژه‌های پایلوت موفق، این روش، به‌ویژه در شمال کشور با محدودیت منابع آب، به یک راه‌حل کلیدی درازمدت تبدیل شده است. در سال ۲۰۱۹، چین ۱۲/۶۲ میلیارد مترمکعب آب خاکستری را دوباره استفاده کرد که بیشتر برای مصارف اکولوژیکی، صنعتی و شهری (از جمله آبیاری فضای سبز) بوده و اهمیت روزافزون این رویکرد در مدیریت منابع آب را نشان می‌دهد. در فرانسه، استفادهٔ مجدد از آب‌های خاکستری تصفیه‌شده که از دههٔ ۱۹۸۰ در مناطق ساحلی و جزیره‌ای آغاز شده، همچنان حاشیه‌ای باقی مانده و تنها ۰/۲ درصد از آب‌های خاکستری تصفیه‌شدهٔ هر ساله را شامل می‌شود. در سال ۲۰۱۷، گزارشی از Cerema ۱۲۸ طرح برای استفادهٔ مجدد از آب‌های خاکستری تصفیه‌شده که عمدتاً برای آبیاری کشاورزی (۶۰ درصد) و آبیاری زمین‌های گلف (۲۶ درصد) بوده است را شناسایی کرد [۲۱].

در اروپا نیز، استفادهٔ مجدد از آب‌های خاکستری تصفیه‌شده یک عمل توسعه‌یافته است. در میلان (ایتالیا) در سال ۲۰۰۵ بزرگ‌ترین کارخانهٔ تصفیهٔ آب در اروپا احداث شد که قادر به تصفیهٔ ۳۴۵ هزار مترمکعب در روز برای آبیاری بیش از ۲۲ هزار هکتار از محصولات باغی بود. در اسپانیا، هر سال تقریباً ۳۶۸ میلیون مترمکعب آب خاکستری دوباره استفاده می‌شود که بیشتر برای کشاورزی (۸۶ درصد) و همچنین برای آبیاری زمین‌های گلف، تغذیهٔ سفره‌های آب زیرزمینی و افزایش جریان رودخانه‌ها به کار می‌رود [۲۱ و ۲۲]. در پاسخ به افزایش شهرنشینی و کمبود فزایندهٔ آب، کرهٔ جنوبی و دولت آن سیاستی را به منظور تشویق استفاده از سیستم‌های پیشرفتهٔ تصفیهٔ آب (مرحلهٔ دوم) برای استفادهٔ ایمن مجدد از آب‌های خاکستری در کشاورزی اتخاذ کرده‌اند. در حال حاضر، بسیاری از کشورها دستورالعمل‌ها و فناوری‌هایی را برای استفاده از آب‌های خاکستری تصفیه‌شده به عنوان منبع آبیاری توصیه کرده‌اند. در ژاپن و ایالات متحده، چندین شهرداری شبکه‌های توزیع دو دایره‌ای را اتخاذ کرده‌اند که آب شرب را از آب‌های خاکستری تصفیه‌شده جدا می‌کند. آب‌های خاکستری تصفیه‌شده عمدتاً برای آبیاری مناطق سبز، طراحی منظر، نظافت شهری و اطفای حریق استفاده می‌شود که نمایانگر یک راه‌حل پایدار برای مدیریت منابع آب است.

در ایران نیز در شهر اصفهان، تصفیه‌خانهٔ مجهز به فناوری نانو اُزُن، توانسته ۵۰ لیتر بر ثانیه پساب تولید کند که پساب خروجی از آن برای آبیاری فضای سبز مورد استفاده قرار می‌گیرد و امکان افزایش ظرفیت تا ۲۰۰ لیتر بر ثانیه را نیز دارد [۲۳]. در شهر یزد با اقلیم بیابانی و نیمه‌بیابانی، از فاضلاب تصفیه‌شدهٔ بیمارستان شهدای کارگر یزد برای آبیاری فضای سبز محدودهٔ اطراف استفاده می‌شود [۲۴]. این طرح‌ها همگی اثربخشی استفادهٔ مجدد از پساب را در مدیریت پایدار منابع آب نشان می‌دهند.

بررسی وضعیت کنونی منابع آب در شهر تهران و نیاز آبی فضای سبز شهری

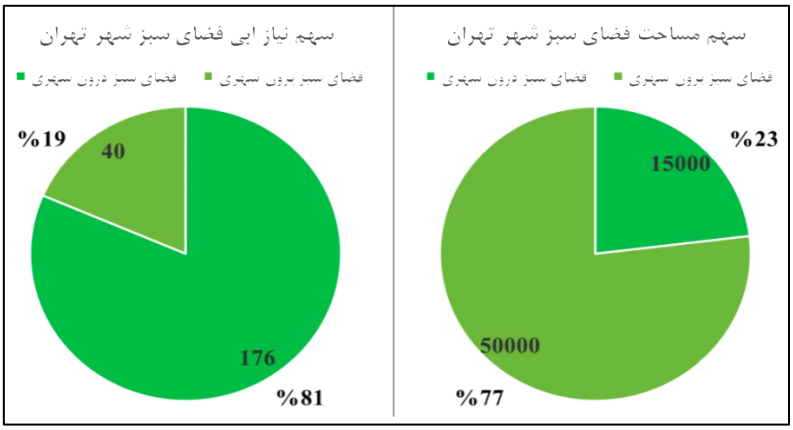
تهران، پایتخت و بزرگ‌ترین کلان‌شهر ایران، در حال حاضر با بحرانی بی‌سابقه در تاریخ صد سال اخیر خود از نظر منابع آبی

1. Unconventional Water Resources
2. Conventional Water Resources

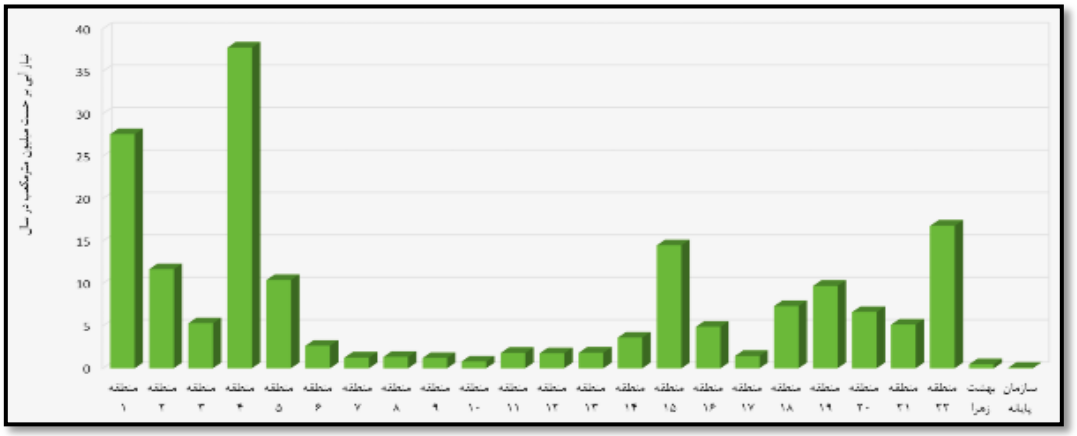
مواجه است. این بحران که نتیجهٔ عوامل متعددی از جمله خشکسالی، افزایش جمعیت، و مصرف بالا است، تأثیر عمیقی بر تأمین آب شرب و نیز آبیاری فضای سبز شهری گذاشته است. در حال حاضر، سدهای پنجگانهٔ تهران (لار، لتیان، ماملو، طالقان و امیرکبیر) که مسئولیت اصلی تأمین آب شرب پایتخت را به عهده دارند، در وضعیتی بحرانی قرار گرفته‌اند. در چنین شرایطی و با توجه به تنش آبی موجود، الگوی مصرف آب برای شهروندان از ۱۵۰ لیتر بر روز در سال ۱۴۰۳ به ۱۳۰ لیتر بر روز در سال ۱۴۰۴ کاهش پیدا کرده است [۲۵].

سهم مصرف آب استان تهران در بخش‌های شرب و خانگی، کشاورزی، صنعتی و آبیاری فضای سبز به‌ترتیب ۵۷، ۳۴، ۴/۴ و ۲/۸ درصد است. این در حالی است که در شهر تهران با میزان مصرف کل ۴۲۰۱ میلیون مترمکعب (م.م.م) [۲۶]، اعداد یادشده به‌ترتیب به ۶، ۸۴، ۶ و ۴ درصد تغییر می‌کنند. در حقیقت، مصرف اصلی آب در شهر تهران به بخش شرب و خانگی مربوط است که دلیل آن، تراکم بالای جمعیت (حدود ۱۰ هزار نفر بر کیلومتر مربع) است. در حال حاضر، بیش از ۸۰ درصد از آب مورد نیاز برای آبیاری فضای شهری از منابع زیرزمینی (چاه‌ها و قنات‌ها) تأمین می‌شود [۲۷]. درخور یادآوری است، تداوم این وضعیت می‌تواند باعث فرونشست خطرناک زمین شود؛ اتفاقی که هم‌اکنون در محدودهٔ استان البرز و اصفهان رخ داده است.

در یک دسته‌بندی کلی، فضای سبز شهر تهران به فضای سبز درون‌شهری و برون‌شهری تقسیم می‌شود. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده، مساحت فضای سبز شهر درون‌شهری تهران در حدود ۱۵ هزار هکتار (معادل سرانهٔ تقریباً ۱۷ مترمربع به ازای هر تهرانی) و مساحت فضای سبز برون‌شهری تهران (کمربند سبز) حدود ۵۰ هزار مترمربع است [۲۸]. با این‌حال، نیاز آبی فضای سبز درون‌شهری تهران (معادل ۱۷۶ م.م.م) به دلیل کاشت گونه‌های گیاهی با نیاز آبی بیشتر، به مراتب بیشتر از نیاز آبی فضای سبز برون‌شهری (معادل ۴۰ م.م.م) است، و بنابراین، کل نیاز آبی فضای سبز تهران حدود ۲۱۶ م.م.م (معادل ۵ درصد از مصرف آب کل شهر تهران) تخمین زده شده است [۲۸]. در شکل ۵ نیاز آبی فضای سبز شهر تهران به تفکیک مناطق ۲۲گانه بیان شده است.



شکل ٤. مساحت و نیاز آبی فضای سبز شهر تهران به تفکیک درون‌شهری و برون‌شهری (کل نیاز آبی: ۲۱۶ م.م.م) [۲۸]



شکل ۵. نیاز آبی فضای سبز موجود در مناطق ۲۲گانهٔ شهر تهران (بر حسب م.م.م) به تفکیک مناطق ۲۲گانه در سال ۱۴۰۴ [۲۸]

تکنولوژی‌های تصفیهٔ پساب و مدیریت/ مهار رواناب

فاضلاب شهری تصفیه‌شده و رواناب‌های سطحی عموماً دارای سطح آلودگی پایین هستند، به طوری که در کشورهای توسعه‌یافته گاه حتی بدون فرایند تصفیهٔ تکمیلی، برای استفاده در مکان‌های تفرجی یا آبیاری فضای سبز شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. استرالیا به عنوان کشوری باران‌خیز و پیشرو در مدیریت رواناب‌های سطحی از چاهک‌های نفوذ باران[1] برای مهار و تغذیهٔ رواناب سطحی به داخل زمین با فیلتراسیون طبیعی استفاده می‌کنند [۲۹]. همچنین، حوضچه‌های تعدیل با بستر طبیعی[2]، ساخت پیاده‌روها با روکش‌های نفوذپذیر[3]، احداث ترانشه‌های نفوذ[4]، تالاب‌های مصنوعی[5]، جوی باغچه‌ها[6] از جمله دیگر روش‌ها برای مهار و افزایش نفوذ رواناب‌های سطحی است، که آبخوان‌های زیرزمینی نیز به وسیلهٔ آن‌ها تغذیه می‌شوند [۳۰]. با اجرای روش‌های یادشده، ضمن کاهش خطر جاری شدن سیلاب در الگوهای بارش سیلابی، ضریب نفوذ آب به داخل زمین در مناطق شهری افزایش پیدا کرده و در نتیجه می‌توان آبخوان‌های زیرزمینی را با استفاده از رواناب‌های شهری تغذیه کرد.

با این‌حال، ممکن است کیفیت فاضلاب شهری تصفیه‌شده یا رواناب‌های سطحی به دلایلی همچون تصفیهٔ ناقص، تخلیهٔ غیرمجاز فاضلاب به درون جوی‌ها و غیره افت کرده و به صورت مستقیم امکان استفادهٔ مجدد از آن مقدور نباشد. در چنین شرایطی برای استفاده از پساب/ رواناب به منظور آبیاری فضای سبز نیاز به طراحی و تعبیهٔ فرایند تصفیهٔ تکمیلی بر اساس استانداردهای تعیین‌شده وجود دارد. برای تصفیه و بازچرخانی رواناب‌های سطحی به منظور آبیاری فضای سبز شهری، بسته به کیفیت و مشخصات پساب/ رواناب از مجموعه‌ای از روش‌های متداول از جمله فرایندهای فیزیکی به عنوان پیش‌تصفیه (دانه‌گیری و آشغال‌گیری)، فرایندهای بیولوژیکی (لجن فعال هوازی)، فرایند فیزیکوشیمیایی (انعقاد و لخته‌سازی) و در صورت نیاز از فیلتراسیون نهایی (فرایندهای غشایی، میکروفیلتراسیون، نانوفیلتراسیون) بهره گرفته می‌شود [۱۷ و ۲۱]. این روش‌ها به منظور حذف آلاینده‌ها، کاهش مواد مغذی، کنترل رسوبات و تأمین کیفیت مناسب آب برای گیاهان به کار می‌رود (جدول ۲).

جدول ۲. فرایندهای متداول به منظور تصفیه و بازچرخانی رواناب و پساب (فاضلاب تصفیه‌شده) برای آبیاری فضای سبز [۱۷ و ۲۱]

ردیف	نوع فرایند تصفیه	توضیحات
۱	فیزیکی	فرایندهای حذف فیزیکی از جمله آشغال‌گیرها و مخازن ته‌نشینی برای حذف جامدات درشت. برخی از این فرایندها عبارت‌اند از: توری‌ها و آشغال‌گیرها: برای جدا کردن ذرات درشت مانند برگ، پلاستیک و آشغال پیش از ورود به سامانهٔ فرایندی استفاده می‌شود. حوضچه‌های ته‌نشینی: رسوبات و ذرات معلق موجود در رواناب را در این مرحله خارج می‌کنند تا از گرفتگی مراحل بعد جلوگیری شود.
۲	بیولوژیکی	برای حذف آلاینده‌های آلی محلول. دو فرایند متداول عبارت‌اند از: فرایند MBBR: استفاده از بسترهای رشد چسبیده معلق برای افزایش بار میکروبی در مخزن تصفیه فرایند اختلاط کامل (لجن برگشتی): هوادهی فاضلاب و برگشت لجن جمع‌آوری‌شده در مرحلهٔ ته‌نشینی به فرایند تصفیهٔ هوازی
۳	فیزیکوشیمیایی	استفاده از مواد منعقدکننده (مانند سولفات آلومینیوم و فریک کلراید) و لخته‌ساز (پلی‌الکترولیت‌ها) برای تسهیل ته‌نشینی مواد جامد معلق و کلوئیدی در ترکیب فاضلاب
۴	گندزدایی	برای حذف جمعیت میکروبی داخل پساب/ رواناب تا حدود استاندارد. شامل استفاده از مواد ضدعفونی‌کننده مانند هیپوکلریت‌های سدیم یا کلسیم، گاز کلر، گاز اُزُن
۵	فیلتراسیون نهایی	برای حذف ترکیبات آلایندهٔ باقی‌مانده در ترکیب فاضلاب که در مراحل قبلی به طور کامل حذف نشده‌اند. برخی از این فرایندها عبارت‌اند از: فیلتر شنی، فیلتر کربن، میکروفیلتراسیون، نانوفیلتراسیون

استفاده از پساب تصفیه‌شده و رواناب‌های سطحی به عنوان منابع آبی جایگزین برای آبیاری فضای سبز شهری، نه تنها راه‌حل هوشمندانه‌ای برای حفظ منابع آب شیرین محسوب می‌شود، بلکه با داشتن مزایایی همچون صرفهٔ اقتصادی، تأمین مواد

1. Infiltration basin
2. Bioswale
3. Porous pavement
4. Infiltration trench
5. Artificial wetland
6. Grass swales

مغذی (پساب حاوی نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، کاهش آلودگی محیط زیست و افزایش پایداری، نقش کلیدی در تحقق اهداف توسعهٔ پایدار شهری ایفا می‌کند [۱۶، ۱۷، ۲۱ و ۳۰].

مواد و روش‌ها

در مطالعهٔ حاضر، ابتدا نیاز آبی فضاهای سبز درون‌شهری (شامل بوستان‌ها، معابر، بوستان‌های جنگلی) و برون‌شهری (کمربند سبز) تهران با توجه به گونه‌های گیاهی و مساحت تحت پوشش، به تفکیک مناطق ۲۲گانه محاسبه شد. همچنین، میزان برداشت آب از منابع زیرزمینی (شامل چاه‌ها و قنات‌ها) در سال ۱۴۰۱ (سال مبنا) محاسبه شد. علاوه بر این، دبی آب قابل برداشت از کانال‌های سطحی بر اساس دبی آب سطحی جاری در آن‌ها که بر اساس عرض کانال، ارتفاع آب و سرعت جریان در مسیل‌های اصلی شهر تهران محاسبه شد. همچنین، میزان برداشت و دریافت فاضلاب تصفیه‌شده از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب تحت نظارت وزارت نیرو تخمین زده شد. سپس با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده، میزان آب قابل برداشت از منابع چهارگانهٔ یادشده در برش‌های ۳ساله و ۱۰ساله و با توجه سیاست تأمین آب مورد نیاز برای آبیاری فضای سبز از منابع آبی نامتعارف، تخمین زده شد. درخور یادآوری است، در محاسبهٔ تمامی اعداد یادشده، موقعیت محل برداشت و استحصال آب و همچنین، موقعیت و نیاز آبی فضای سبز مجاور در نظر گرفته شد. علاوه بر موارد یادشده، مقالات و نوشته‌های علمی از درگاه‌های داخلی و خارجی همچون Scopus، WOS، Elsevier، علم‌نت، و ... با استفاده از کلیدواژه‌هایی همچون بازچرخانی پساب، بازیابی آب، و استفاده از منابع آب نامتعارف برای نگهداشت و توسعهٔ فضای سبز پیدا شد و مورد بررسی قرار گرفت تا روش‌های مناسب برای استفادهٔ مجدد از رواناب‌ها و تأمین آب برای آبیاری فضای سبز از طریق منابع آبی غیرمتعارف مشخص شوند.

یافته‌ها

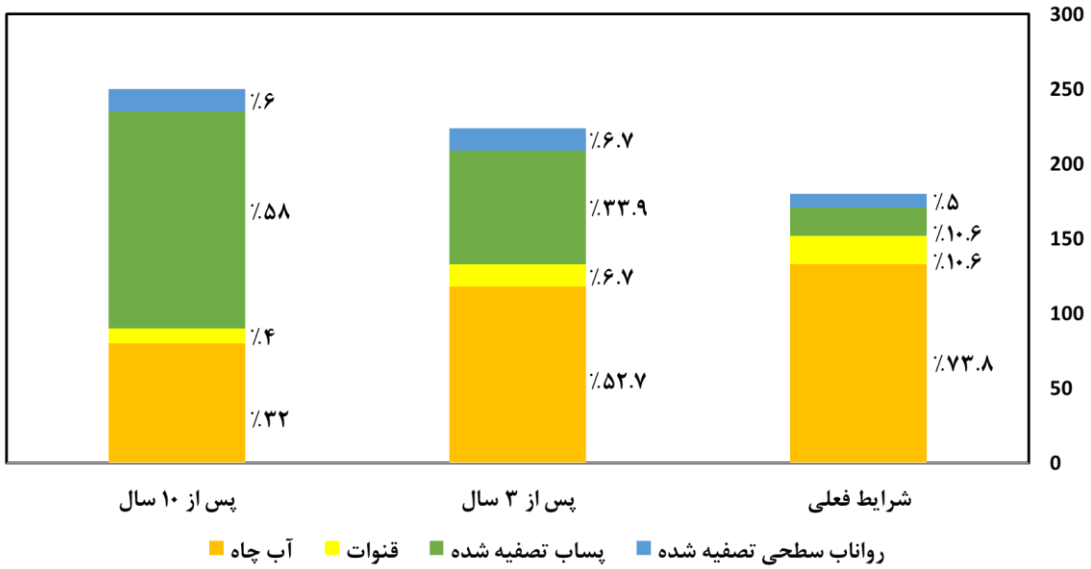
بر اساس شاخص تنش آب سازمان ملل و با توجه سرانهٔ آب در دسترس ۳۶۶ مترمکعب در سال در تهران، شهر تهران با برداشت بیش از ۸۰ درصد از کل منابع آبی شهر تهران، در حال حاضر در وضعیت «تنش آبی شدید» قرار دارد. برای کاهش تنش آبی از وضعیت قرمز به نارنجی (جدول ۱)، مصرف آب از ۴۲۰۱ م.م.م مکعب در حال حاضر، باید به ۲۹۱۲ م.م.م در سال (معادل ۶۰ درصد از کل منابع آبی) کاهش پیدا کند که این به معنای کاهش ۳۰ درصدی مصرف نسبت به شرایط فعلی است. یک اقدام مؤثر در این زمینه، جایگزینی پساب و رواناب‌های تصفیه‌شده با آب چاه‌ها و قنات‌ها برای آبیاری فضای سبز است.

در این‌زمینه، شهرداری تهران که در چارچوب مدیریت شهری غیرمتمرکز (Disintegrated Urban Management) فعالیت می‌کند، در نظر دارد تا سهم منابع آب غیرمتعارف را برای تأمین نیازهای آبی به‌ویژه مرتبط با آبیاری و افزایش فضاهای سبز شهری و همچنین، نیازهای ایستگاه‌های آتش‌نشانی، نظافت معابر عمومی و سایر کاربردهای جزئی افزایش دهد. این طرح شامل تصفیه و بازچرخانی رواناب‌های سطحی شهری از طریق تأسیس ۲۴ واحد تصفیهٔ فاضلاب غیرمتمرکز با ظرفیت کل ۱۵ میلیون متر مکعب در سال در یک دورهٔ سه‌ساله است. علاوه بر این، شهرداری تهران برنامه‌ای برای بازچرخانی داوطلبانهٔ پساب تصفیه‌شدهٔ شهری از ۱۶ واحد تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهری موجود طراحی کرده است. این امر با نصب ایستگاه‌های پمپاژ، مخازن ذخیره‌سازی موقت و شبکهٔ انتقال در هفت مکان مشخص محقق خواهد شد.

در حال حاضر، توزیع برداشت آب از منابع مختلف توسط شهرداری تهران به شرح زیر است: چاه‌ها در حدود ۱۳۳ میلیون متر مکعب در سال، قنات‌ها ۱۹ میلیون متر مکعب در سال، فاضلاب تصفیه‌شده ۱۹ میلیون متر مکعب در سال و بازچرخانی آب‌های سطحی شهری ۹ میلیون متر مکعب در سال را تأمین می‌کنند (جدول ۳). با اجرای طرح حاضر، علاوه بر افزایش ظرفیت کل آب موجود از ۱۸۰ به ۲۵۰ میلیون متر مکعب در سال طی ده سال آینده، پیش‌بینی می‌شود کاهش قابل توجهی در وابستگی به چاه‌ها و قنات‌ها ایجاد کند و سهم آن‌ها را از ۸۴/۵ درصد به ۳۶ درصد کاهش دهد. به طور هم‌زمان، انتظار می‌رود سهم بازچرخانی آب‌های سطحی شهری و فاضلاب شهری از تأمین کل آب از ۱۵/۶ درصد به حدود ۶۴ درصد طی افق ده‌ساله افزایش یابد (شکل ۶). با اجرای طرح حاضر، میزان برداشت از چاه‌ها و قنوات شهری پس از ۳ و ۱۰ سال به‌ترتیب ۱۹ م.م.م و ۶۲ م.م.م نسبت به میزان برداشت فعلی (مبنا) کاهش خواهد یافت که گام مؤثری در کاهش تنش آبی در شهر تهران خواهد بود.

جدول ۳. میزان برداشت فعلی و برنامه‌ریزی‌شده آب از منابع آبی مختلف

نوع منبع آبی	مصرف آب سال ۱۴۰۱ (مبنا) (م.م.م در سال)	افق ۳ساله (م.م.م در سال)	افق ۱۰ساله (م.م.م در سال)
آب چاه	۱۳۳	۱۱۸	۸۰
قنات‌ها	۱۹	۱۵	۱۰
پساب تصفیه‌شده	۱۹	۷۶	۱۴۵
رواناب سطحی تصفیه‌شده	۹	۱۵	۱۵
کل	۱۸۰	۲۲۴	۲۵۰



شکل ٦. سهم مبنا و برنامه‌ریزی‌شده (پس از ۳ و ۱۰ سال) برای برداشت آب از منابع مختلف به منظور آبیاری فضای سبز

علاوه بر این، شهرداری تهران می‌تواند منابع فاضلاب تصفیه‌شده را از تأسیسات تصفیهٔ فاضلاب مجتمع‌های مسکونی، تأسیسات تصفیهٔ فاضلاب صنعتی و سیستم‌های فیلتراسیون پساب تأسیسات تصفیهٔ آب شناسایی کند و ارزیابی لازم را برای امکان استفاده از این پساب‌های تصفیه‌شده به عنوان جایگزینی برای آب خام استخراج‌شده از چاه‌ها و قنات‌ها انجام دهد. در صورت داشتن کیفیت مورد نیاز، پساب‌های یادشده نیز می‌توانند به عنوان منابع آب نامتعارف برای آبیاری فضای سبز مورد استفاده قرار گیرند.

نتیجه‌گیری

یک راهکار پایدار به منظور تأمین آب مورد نیاز برای نگهداشت و توسعهٔ فضای سبز، استفاده از رواناب‌های سطحی و پساب تصفیه‌شده برای آبیاری است. بر اساس مطالعات انجام‌شده، مجموع نیاز آبی فضای سبز درون‌شهری و برون‌شهری شهر تهران حدود ۲۱۶ م.م.م در سال است. در شرایط فعلی، آب برداشتی از منابع چاه‌ها، قنات‌ها، پساب تصفیه‌شده و رواناب‌های سطحی به‌ترتیب با سهم‌های ۷۴، ۱۰/۵، ۱۰/۵ و ۵ درصد، به میزان ۱۸۰ م.م.م است. بر اساس برنامه‌ریزی انجام‌شده میزان برداشت آب از منابع چاه‌ها و قنات‌های شهری پس از ۳ و ۱۰ سال، می‌تواند به‌ترتیب به مقدار ۱۹ و ۶۲ م.م.م کاهش یابد. همچنین، درخور یادآوری است که ظرفیت استفادهٔ بیشتر از منابع رواناب‌های سطحی و پساب تصفیه‌شده نیز وجود دارد؛ با این‌حال، چالش‌هایی نظیر مالکیت حقوقی پساب تصفیه‌شده و رواناب‌های سطحی، و همچنین، عدم امکان آبیاری تمامی فضاهای سبز شهری از جمله بخش‌های تفرجی مانند پارک‌ها با پساب شهری به دلیل مسائل بهداشتی، باعث می‌شود نتوان ظرفیت استفاده از منابع غیرمتعارف یادشده با بیش از این را افزایش داد. بنابراین، پساب تصفیه‌شده و رواناب‌های سطحی هر دو می‌توانند منابع قابل

اتکایی برای آبیاری فضای سبز شهری باشند؛ اما سطح تصفیه باید بر اساس نوع کاربری (چمن عمومی، پارک بازی کودکان، درختکاری) و استانداردهای تدوین‌شده مشخص شود.

یک راهکار دیگر برای کاهش مصرف آب در آبیاری فضای سبز و به تبع آن، کاهش برداشت آب از منابع زیرزمینی، کاهش نیاز آبی از طریق کاشت گونه‌های گیاهی مناسب سازگار با اقلیم و با مصرف آب پایین و به‌کارگیری آن‌ها در توسعهٔ فضای سبز شهری است [۳۱]. در شرایط اقلیمی نیمه‌خشک و تا حدی خشک تهران (با تابستان‌های گرم، زمستان‌های نسبتاً کوتاه و بارندگی سالانهٔ محدود) انتخاب گونه‌های گیاهی با نیاز آبی پایین و سازگار با مشخصات خاک منطقه اهمیت اساسی در توسعهٔ پایدار فضای سبز شهری دارد [۳۲]. تنوع ارتفاع، نوع خاک منطقه، دما و میزان بارش از جمله پارامترهای تأثیرگذار در انتخاب پوشش گیاهی مناسب هستند [۳۱ ـ ۳۳]. بر اساس مطالعات انجام‌شده و بر اساس اقلیم شهر تهران، گونه‌های درختی همچون داغداغان و زیتون تلخ و پسته چینی، گونه‌های درختچه همچون ارغوان و سنجد زینتی، و گونه‌های گیاه‌های پوششی و زینتی همچون گل‌ناز و جونی‌پروس از جمله گونه‌های مناسب و سازگار با اقلیم شهر تهران هستند [۳۲].

شایان یادآوری است که کاشت گونه‌های بومی و مقاوم باید با مطالعات خاک و انتخاب دقیق گونه بر اساس موقعیت جغرافیایی، نوع خاک و کاربری انجام شود. همچنین، باید در نظر داشت که ایجاد فضای سبز و مناظر آب‌بر در اقلیم خشک رویکردی ناکارآمد است، چرا که در میان‌مدت و بلندمدت به ایجاد چالش در تأمین آب مورد نیاز منجر خواهد شد [۳۱]. در چنین شرایطی، طراحی خشک‌منظره (xeriscape) نیز می‌تواند رویکرد مناسبی باشد که در آن ترکیب گیاهان کم‌آب‌بر با زیرساخت سبز و روش‌های آبیاری کارآمد به کار گرفته می‌شود [۳۴]. استفاده از رویکردهای پایدارتر، فوایدی همچون کاهش نیاز آبی، افزایش دوام و کاهش هزینه‌های نگهداری، را به دنبال خواهد داشت [۳۱].

همچنین، یک راهکار مؤثر دیگر در راستای کاهش آب مصرفی در فضای سبز، استفاده از روش‌های آبیاری نوین با بازدهی بالا است. انتخاب یک سیستم آبیاری مناسب با آب بازیابی‌شده برای اطمینان از کاربرد یکنواخت و کارایی بالا حائز اهمیت است. کیفیت فاضلاب، نوع خاک و گونه‌های گیاهی، توانایی کاربر در استفاده از روش‌های مختلف و خطرات بالقوه برای محیط زیست و سلامت انسان نوع آبیاری انتخابی را تعیین می‌کند [۱۷]. روش‌های آبیاری را می‌توان به پنج دسته تقسیم کرد: ۱) آبیاری غرقابی (Flood irrigation)، ۲) آبیاری جوی و پشته (Furrow irrigation)، ۳) آبیاری بارانی (Sprinkle irrigation)، ۴) آبیاری زیرسطحی (Subsurface irrigation) و ۵) آبیاری موضعی (Localized irrigation) [۳۵ ـ ۳۷].

آبیاری زیرسطحی از نوین‌ترین و مؤثرترین روش‌ها برای آبیاری فضای سبز شهری است که با توجه به بحران آب و لزوم توسعهٔ پایدار، جایگاه ویژه‌ای در مدیریت بهینهٔ منابع آبی پیدا کرده است. در این روش، آب به‌وسیلهٔ لوله‌ها یا نوارهای قطره‌ای که در عمق مشخصی از خاک (معمولاً ۲۰ تا ۵۰ سانتی‌متر) نصب می‌شوند، مستقیم به ناحیهٔ ریشهٔ گیاهان منتقل می‌شود. این فناوری هم در پارک‌ها، بلوارها و فضاهای سبز شهری و هم در زمین‌های کشاورزی قابل پیاده‌سازی است و می‌تواند فوایدی همچون صرفه‌جویی بسیار زیاد در مصرف آب، کاهش رشد علف‌های هرز، کاهش بیماری‌های گیاهی، امکان استفاده از پساب تصفیه‌شده یا آب‌های بازیافتی و افزایش بهره‌وری و رشد گیاه را در پی داشته باشد. با این‌حال، ملاحظاتی مانند عمق دفن لوله، نوع قطره‌چکان و فشار آب متناسب با نوع گیاه و مشخصات خاک در طراحی این سیستم‌ها باید در نظر گرفته شود.

بنابراین با توجه به مطالب یادشده، پساب تصفیه‌شده و رواناب مهارشده به عنوان منابع آب نامتعارف، هر دو می‌توانند منبع قابل اتکایی برای آبیاری فضای سبز شهری باشند؛ با این‌حال سطح تصفیه باید بر اساس نوع کاربری (چمن عمومی، پارک بازی کودکان، درختکاری) تعیین شود. مزایای تصفیهٔ آب‌های سطحی شهری و فاضلاب شهری برای مقاصد بازچرخانی متعدد است. نخست اینکه، این کار تاب‌آوری سیستم‌های آبی شهری را با تنوع بخشیدن به منابع تأمین آب و کاهش آسیب‌پذیری نسبت به تغییرات اقلیمی افزایش می‌دهد. دوم اینکه، استفاده از آب‌های سطحی شهری و فاضلاب تصفیه‌شده برای نگهداری و توسعهٔ فضاهای سبز شهری به بهبود ارزش زیبایی‌شناختی، افزایش تنوع زیستی و افزایش کربن‌زدایی در شهرها کمک می‌کند [۱۸]. در پایان، یادآوری این موضوع ضرورت دارد که با کاهش تقاضا برای آب شرب در کاربردهای غیرشرب، حفاظت و پایداری آب توسعه داده می‌شود.

منابع

1. Mekonnen MM, Hoekstra AY. Four billion people facing severe water scarcity. Sci Adv. 2016;2(2):e1500323.
2. Water scarcity | UNICEF [Internet]. [cited 2025 Sep 22]. Available from: https://www.unicef.org/wash/water-scarcity
3. General Directorate of Meteorology of Tehran Province. Spring 1404 Quarterly Journal of Tehran Meteorology. 1404.
4. Martin Armstrong. Global water accessibility. 2024 [cited 2025 Aug 29]. Where Water Stress Will Be Highest by 2050 | Statista. Available from: https://www.statista.com/chart/26140/water-stress-projections-global/
5. Hosseini SM. Development of an Urban Water Scarcity Index (Case Study: Tehran City). Iran-Water Resources Research. 2023;19(1):167–74.
6. Nabavi S, Mostafazadeh R. Analysis of water stress indices and the network of water governance in the Sixth 5-year development plan of Iran. Irrigation and Water Engineering. 2021;12(2):394–413.
7. Ministry of Energy. 43rd meeting of the Supreme Water Council of the Ministry of Energy. 1400.
8. Regional Water Company of Tehran. No Title. 1401.
9. Volkova NE, Ivanyutin NM, Popovich V V. Assessment of the prospects for the use of treated wastewater for irrigation purposes in the Republic of Crimea. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing; 2022. p. 12028.
10. Al-Murshady KR, Al-Qaisi AZ, Ali ZH. The ability of using treated wastewater for irrigation purposes: middle Euphrates of Iraq as a case study. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing; 2021. p. 12101.
11. Ritchie H, Roser M. Water Use and Stress. Our World in Data [Internet]. 2018 Jul 1 [cited 2025 Aug 29]; Available from: https://ourworldindata.org/water-use-stress
12. Odendaal PE. Unconventional sources of water supply. Water and Health; EOLSS: Oxford, UK. 2009;2:88.
13. Karimidastenaei Z, Avellán T, Sadegh M, Kløve B, Haghighi AT. Unconventional water resources: Global opportunities and challenges. Science of the Total Environment. 2022;827:154429.
14. Dayani S, Sabzalian MR, Hadipour M, Eslamian S. Water scarcity and sustainable urban green landscape. Handbook of drought and water scarcity. 2017;557–604.
15. Xu Z, Marini S, Mauro M, Maietta Latessa P, Grigoletto A, Toselli S. Associations between urban green space quality and mental wellbeing: Systematic review. Land (Basel). 2025;14(2):381.
16. Organization WH. Urban green space interventions and health: A review of impacts and effectiveness. Urban green space interventions and health: a review of impacts and effectiveness. 2017;
17. Santos AF, Alvarenga P, Gando-Ferreira LM, Quina MJ. Urban wastewater as a source of reclaimed water for irrigation: barriers and future possibilities. Environments. 2023;10(2):17.
18. Oron G, Campos C, Gillerman L, Salgot M. Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities. Agric Water Manag. 1999;38(3):223–34.
19. Garcia D, Muñoz Meléndez G, Arteaga A, Ojeda-Revah L, Mladenov N. Greening urban areas with decentralized wastewater treatment and reuse: a case study of Ecoparque in Tijuana, Mexico. Water (Basel). 2022;14(4):596.
20. Schwecke M, Simmons B, Maheshwari B. Sustainable use of stormwater for irrigation case study: Manly Golf Course. Environmentalist. 2007;27:51–61.
21. Boukhaffa C, Lafdil M, Chkird F, Derouiche M, Boulida Z, Arabi M, et al. Reusing Treated Wastewater for Irrigation in Urban Areas: Challenges and Opportunities for Green Spaces. In: E3S Web of Conferences. EDP Sciences; 2025. p. 1011.
22. Farah GT. SEMINAIRE INTERNATIONAL SUR LA REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITEES DANS LA REGION ARABE. 2011;
23. Municipality of Isfahan. World of Economy Newspaper. 1403 [cited 2025 Aug 31]. Irrigation of green spaces in Isfahan with treated wastewater using nano-ozone. Available from: https://donya-e-eqtesad.com/نانوازون-با-شده-تصفیه-پساب-با-اصفهان-سبز-فضای-آبیاری-63/4080916-نامه-ویژه-بخش

24. Darapour et al. Use of treated hospital wastewater for irrigating green spaces. Journal of water and wastawater. 1383;
25. Ministry of Energy. Resolution of the Ministry of Energy regarding the determination of non-subsidized water prices approved on 31/01/1404 with subsequent amendments and additions. 1404.
26. Regional Water Company of Tehran. Meeting for the Development of Drought Adaptation Program for Tehran Province. 1400.
27. Department of Environment and Sustainable Development M of T. Operational plan for wastewater and runoff reuse. 1401.
28. Department of Environment and Sustainable Development M of T. Comprehensive Raw Water Study. 1404.
29. Fletcher TD, Deletic A, Mitchell VG, Hatt BE. Reuse of urban runoff in Australia: a review of recent advances and remaining challenges. J Environ Qual. 2008;37(S5):S-116.
30. Jusić S, Hadžić E, Milišić H. Urban stormwater management–new technologies. In: International Conference "New Technologies, Development and Applications". Springer; 2019. p. 790–7.
31. Arhuire-Ossio M, Vélez-Azañero A, Quiros-Rossi L, Thomas E, Ladd B. Optimizing water use efficiency in urban green space of a hyper-arid megacity through tree species selection: a case study. Urban Water J. 2023;20(10):1331–5.
32. Rabiei Sadeghabadi M, Nouri O, Deihimfard R. Plant selection for semi-arid urban landscapes with an emphasis on climate change (case study: Tehran). Environ Sci (Ruse). 2020;18(1):219–36.
33. Ahmadi M, Alibakhshi Z, Farajzade Asl M. Detection of Spatio-temporal changes in the vegetation of Tehran and satellite cities in association with land surface temperature. Environ Sci (Ruse). 2019;17(4):133–50.
34. Jahangiri L, Mehrabanigolzar MR, Zarrabi MM. Modification of green space planting pattern based on the principles of xeriscaping to reduce water consumption in metropolitan areas. 2022;
35. Kumar P. A review on types of irrigation system and their advantages. IJRAR. 2018;5(3):79–84.
36. Derbala AA, Elmetwalli AH, Attafy TM, Abdelglil AA, Amer MM. Performance evaluation of drip irrigation system using two types of irrigation water. Misr Journal of Agricultural Engineering. 2023;40(3):203–16.
37. Fam D, Mosley E, Lopes A, Mathieson L, Morison J, Connellan G. Irrigation of urban green spaces: A review of the environmental, social and economic benefits. CRC for Irrigation Futures Technical Report. 2008;4(08).

Urban Development Policy Making
Home Page: https://judpm.ir
Online ISSN: 3092-6564

Studying Successful Urban Investment Models In Developed Countries With An Emphasis On Innovative Approaches: Developing A Proposed Model For Tehran Municipality

Masoud Reza Rabiei Beheshti[1] | Mohammad Reza Latifi Sabet[2*]

1. Master of Science in Theoretical Economics, Faculty of Economic and Political Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: mrb.beheshti@gmail.com
2. Corresponding Author, PhD Student in Economic Sciences, Urban and Regional Economics, Faculty of Economics, Management and Accounting, Yazd University, Iran. Email: Latifi.economic1387@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 23 July 2025
Revised 02 September 2025
Accepted 17 November 2025
Published Online 01 January 2026

Keywords:
Circular Urban Economy (CUE),
Innovative Financial Instruments,
Land Value Capture (LVC),
Public-private partnership (PPP),
Sustainable Urban Investment,
Urban Policymaking.

ABSTRACT

With increasing urbanization and mounting pressure on the financial resources of cities—especially in developing countries—it is vital to develop innovative urban investment models. This study adopts a comparative approach to analyze successful urban investment practices in countries with advanced urban economies, such as Germany, the Netherlands, South Korea, the United Kingdom, Singapore, and Japan. Drawing on these case studies, the research aims to present a localized policy framework for the Municipality of Tehran.
Amid rapid urbanization (urban population rising from 35% in 1950 to over 55% in 2015 and projected to reach 66% by 2050), many cities face severe fiscal constraints. Although Tehran's municipal revenues grew from 84,617 billion rials in 2011 to 2,056,589 billion rials in 2025, the share of financing through investment has remained marginal—averaging just 1.2% over fourteen years, with a peak of only 3% in 2012. This underscores the need for more effective investment strategies. The study identifies four key components of successful urban investment: (1) institutional and legal frameworks, (2) innovative financial instruments, (3) stakeholder collaboration, and (4) data-driven governance. Based on these pillars, it proposes the "Smart Investable City Model" for Tehran. This model aims to increase investment-based financing, enhance financial self-reliance, and promote participatory, transparent development.

Cite this article: Rabiei Beheshti, M. R. & Latifi Sabet, M. R. (2026). Studying Successful Urban Investment Models In Developed Countries With An Emphasis On Innovative Approaches: Developing A Proposed Model For Tehran Municipality. *Urban Development Policy Making*, 3 (1), 33-50. DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.537238.1056

© Masoud Reza Rabiei Beheshti, Mohammad Reza Latifi Sabet
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.537238.1056

Introduction

Cities are increasingly recognized as engines of economic growth and social development. According to UN-Habitat, the global urban population rose from 35% in 1950 to 55% in 2015, with projections reaching 66% by 2050. This trend places growing demands on infrastructure and public services. Meanwhile, municipalities—largely dependent on property taxes and central government transfers—are experiencing widening fiscal gaps. Tehran exemplifies this trend: despite dramatic revenue increases over the past decade, investment-based financing remains minimal. This reflects the urgent need for innovative financial frameworks and investment strategies.

Methodology

This research adopts a qualitative, comparative case study approach to analyze urban investment

models in countries with advanced urban economies, including Germany, the Netherlands, South Korea, the UK, Singapore, and Japan. By integrating lessons from these countries with the opportunities provided by digital innovation, the study formulates a localized Smart Investable City Model tailored to the context of Tehran.

Results

Successful urban investment models in the studied countries reveal diverse approaches tailored to their unique contexts. In Germany and the Netherlands, models such as Collaborative Urban Land Development (CULD) and Land Value Capture (LVC) have been instrumental in advancing affordable housing and equitable urban development. The Amsterdam East Docklands project, for instance, transformed an abandoned industrial area into a vibrant, human-centered neighborhood by prioritizing historical preservation, mid-rise design, green spaces, and active mobility.

In Japan and South Korea, public-private partnerships (PPP) and data-driven platforms have been critical. Seoul and Daejeon have successfully leveraged digital tools, big data, and AI to attract investment and engage citizens.

The UK has focused on urban regeneration through Urban Regeneration Companies (URCs), particularly in cities like Manchester and Liverpool. These entities mobilize private investment to revitalize neglected areas, as seen in the success of Liverpool One and Bristol Port projects.

Singapore stands out for its integration of digital governance and international capital attraction, as demonstrated in the long-term development of the Marina Bay Sands area. Through cohesive planning, PPPs, and smart infrastructure, Singapore offers one of Asia's most efficient urban investment systems.

These experiences underline the importance of adapting strategies to local conditions while focusing on long-term planning, innovation, and stakeholder engagement.

Conclusion

The comparative analysis shows that no single urban investment model fits all contexts. Countries have designed strategies that reflect their institutional, economic, and cultural environments. For Tehran, replicating foreign models is neither feasible nor effective without contextual adaptation.

The proposed Smart Investable City Model for Tehran emphasizes public-private partnerships, digital governance, financial transparency, and sustainable revenue generation. Key enablers include policy reforms to support investors, capacity building for urban governance, and the establishment of intermediary development institutions. To transition toward sustainable urban development, Tehran must shift its municipal mindset—embracing investment as a strategic priority, clarifying regulatory processes, and leveraging private sector capabilities.

Such a transformation is critical to enhancing urban quality of life, increasing social welfare, and securing Tehran's long-term development trajectory.

پیشرفت شهری
سیاستگذاری
سایت نشریه: https:// judpmi.ir
شاپا الکترونیکی: ۶۵۶۴-۳۰۹۲

بررسی مدل‌های موفق سرمایه‌گذاری شهری در کشورهای توسعه‌یافته با تأکید بر رویکردهای نوآورانه: ارائهٔ مدل پیشنهادی برای شهرداری تهران

مسعودرضا ربیعی بهشتی[۱] | محمدرضا لطیفی ثابت[۲*]

۱. کارشناس ارشد اقتصاد نظری، دانشکدهٔ علوم اقتصادی و سیاسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: mrb.beheshti@gmail.com
۲. نویسندهٔ مسئول، دانشجوی دکتری علوم اقتصادی گرایش اقتصاد شهری و منطقه‌ای، دانشکدهٔ اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، ایران. رایانامه: Latifi.economic1387@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱

کلیدواژه:
اقتصاد شهری چرخشی،
ابزارهای مالی نوآورانه،
ارزش افزودهٔ زمین،
سرمایه‌گذاری شهری پایدار،
سیاست‌گذاری شهری،
مشارکت عمومی ـ خصوصی.

چکیده

با افزایش شهرنشینی و فشار روزافزون بر منابع مالی شهرها به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه؛ توسعهٔ مدل‌های نوآورانهٔ سرمایه‌گذاری شهری از اهمیت بالایی برخوردار است. این پژوهش با رویکردی تطبیقی به تحلیل تجربیات موفق سرمایه‌گذاری شهری در کشورهایی با اقتصادهای شهری پیشرفته نظیر آلمان، هلند، کرهٔ جنوبی، بریتانیا، سنگاپور و ژاپن می‌پردازد. هدف از این مطالعه، ارائهٔ نوعی چارچوب سیاستی بومی‌شده برای شهرداری تهران بر پایهٔ این مطالعات موردی است. در شرایطی که شهرنشینی با سرعت زیادی در حال گسترش است (جمعیت شهری از ۳۵ درصد در سال ۱۹۵۰ به بیش از ۵۵ درصد در سال ۲۰۱۵ رسیده و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ به ۶۶ درصد افزایش یابد)، بسیاری از شهرها با محدودیت‌های شدید مالی مواجه هستند. هرچند درآمدهای شهرداری تهران از ۸۴،۶۱۷ میلیارد ریال در سال ۱۳۹۰ به ۲،۰۵۶،۵۸۹ میلیارد ریال تا پایان سال ۱۴۰۳ افزایش یافته، اما سهم تأمین مالی از طریق سرمایه‌گذاری طی این دوره همواره ناچیز بوده و به طور متوسط تنها ۱/۲ درصد را شامل شده است؛ به طوری که بیشترین سهم نیز در سال ۱۳۹۱ تنها ۳ درصد بوده است. این موضوع ضرورت تدوین راهبردهای مؤثرتر سرمایه‌گذاری را نشان می‌دهد. مطالعهٔ حاضر چهار مؤلفهٔ کلیدی در موفقیت سرمایه‌گذاری شهری را شناسایی کرده است: ۱) چارچوب‌های نهادی و قانونی؛ ۲) ابزارهای نوآورانهٔ مالی؛ ۳) همکاری و مشارکت ذی‌نفعان و ۴) حکمرانی مبتنی بر داده. بر اساس این ارکان، مدل «شهر هوشمند سرمایه‌پذیر» برای تهران پیشنهاد می‌شود. هدف این مدل، افزایش سهم سرمایه‌گذاری در تأمین مالی، ارتقای خوداتکایی مالی، و ترویج توسعه‌ای مشارکتی و شفاف است.

استناد: ربیعی بهشتی، مسعودرضا و لطیفی ثابت، محمدرضا (۱۴۰۵). بررسی مدل‌های موفق سرمایه‌گذاری شهری در کشورهای توسعه‌یافته با تأکید بر رویکردهای نوآورانه: ارائهٔ مدل پیشنهادی برای شهرداری تهران. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۳ (۱) ۳۳-۵۰.
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.537238.1056

© مسعودرضا ربیعی بهشتی، محمدرضا لطیفی ثابت
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.537238.1056

۱. مقدمه

امروزه شهرها نه‌تنها به عنوان سکونتگاه‌های انسانی، بلکه به‌مثابه موتورهای محرک توسعهٔ ملی شناخته می‌شوند. بر اساس گزارش سازمان ملل متحد، سهم جمعیت شهری جهان از ۳۵ درصد در سال ۱۹۵۰ به بیش از ۵۵ درصد در سال ۲۰۱۵ افزایش یافته است. پیش‌بینی‌ها بیانگر آن است که این رقم تا سال ۲۰۵۰ به ۶۶ درصد خواهد رسید. این روند سریع شهرنشینی که همراه با توسعهٔ صنعتی و افزایش بهره‌برداری از منابع طبیعی است، فشار قابل توجهی بر محیط زیست وارد می‌کند [۱]. بیش از ۸۰ درصد تولید ناخالص داخلی جهان در شهرها تولید می‌شود و در عین حال، این مناطق منبع تولید ۷۵ درصد از گازهای گلخانه‌ای نیز هستند. با وجود این نقش پررنگ، شهرداری‌ها در کشورهای درحال‌توسعه همچنان با بحران‌هایی نظیر ناپایداری مالی، چالش‌های اقلیمی و ناکارآمدی نهادی روبه‌رو هستند. رشد شتابان شهرنشینی در کشورهای درحال‌توسعه، موجب شکاف فزایندهٔ بین نیازهای زیرساختی و ظرفیت‌های مالی شهرداری‌ها شده و ضرورت طراحی مدل‌های کارآمد سرمایه‌گذاری شهری را دوچندان کرده است [۲]. اهمیت سرمایه‌گذاری شهری به واسطهٔ تأثیر مستقیم آن بر تحولات اقتصادی و اجتماعی در سطح شهری، منطقه‌ای و ملی، روزبه‌روز بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. از طرفی، مدیریت شهری با پیچیدگی روزافزون مواجه است؛ بنابراین شناسایی عوامل مؤثر بر جذب سرمایه و تدوین راهبردهای مناسب، ضرورتی اساسی برای برنامه‌ریزان محسوب می‌شود. درک صحیح از این عوامل، اتخاذ سیاست‌های بهینه، بهره‌برداری از مزیت‌های رقابتی و جریان سرمایه‌گذاری پایدار را برای شهرها ممکن می‌سازد [۳]. شهرها برای تحقق اهداف توسعه‌ای در زمینه‌هایی همچون زیرساخت‌ها، حمل‌ونقل، مسکن، خدمات عمومی و فناوری‌های نو، به منابع مالی کلانی نیاز دارند؛ در حالی که بودجه‌های سنتی دولت مرکزی پاسخ‌گوی این نیازها نیست. کشورهای پیشرفته، با طراحی مدل‌های نوین تأمین مالی، شهرداری‌ها را به بازیگر اصلی توسعه تبدیل کرده‌اند و با بهره‌گیری از ابزارهایی همچون مشارکت عمومی ـ خصوصی[1]، جذب سرمایه خارجی، درآمدهای پایدار محلی، فناوری‌های هوشمند و پلتفرم‌های دیجیتال، پروژه‌های پیچیدهٔ شهری را محقق ساخته‌اند [۴]. تجارب موفق کشورهایی مانند آلمان، هلند، ژاپن، کرهٔ جنوبی، انگلستان و ایالات متحده نشان می‌دهد شهرداری‌ها با اتکا به شفافیت مالی، ساختارهای فناورانه و تعامل نهادی با ذی‌نفعان، موفق به جذب سرمایه‌های گسترده و اجرای پروژه‌های عمرانی و خدماتی شده‌اند. در مقابل، در کشورهای درحال‌توسعه از جمله ایران، شهرداری‌ها همچنان بر مدل‌های سنتی متکی بوده و با موانعی مانند درآمدهای ناپایدار، ضعف قانون‌گذاری، نبود شفافیت و نارسایی زیرساخت‌های نهادی و دیجیتال روبه‌رو هستند. شهرداری‌ها باید برای دستیابی به منابع پایدار و تقویت اقتصاد شهری، فرهنگ سرمایه‌گذاری را گسترش دهند و از الگوهای موفق جهانی الگوبرداری کنند. این مهم، اجرای مؤثر سیاست‌های توسعهٔ اقتصادی و ارتقای رفاه عمومی را امکان‌پذیر می‌سازد. شهرداری تهران نیز برای عبور از الگوی سنتی و ورود به مسیر نوین توسعه، نیازمند بازنگری در زیرساخت‌ها و اتخاذ رویکردهای سرمایه‌محور است [۵]. در این راستا، شناسایی، تطبیق و بهره‌برداری از مدل‌های موفق جهانی، متناسب با بستر حقوقی و نهادی ایران، ضرورتی انکارناپذیر است.

در دهه‌های اخیر، الگوی سرمایه‌گذاری شهری در کشورهای پیشرفته از توسعهٔ کالبدی صرف به سوی مدل‌هایی هدفمند، اثربخش و پایدار حرکت کرده است. این مدل‌ها، شهرداری‌ها را به عنوان نهادهای کلیدی در هدایت منابع، تخصیص بهینهٔ بودجه و تسهیل مشارکت بخش خصوصی در توسعهٔ شهری در نظر می‌گیرند. در چنین بستری، تمرکز جمعیتی بالا و فشردگی کاربری‌ها در شهرها، به کاهش هزینهٔ خدمات و افزایش بهره‌وری اقتصادی منجر می‌شود. در کشورهای پیشرفته، نوآوری در ابزارهای تأمین مالی، تنوع‌بخشی درآمدی، مشارکت خصوصی و بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال به طراحی مدل‌های موفق جذب سرمایه شده منجر است. در کشورهایی نظیر هلند، شهرداری‌ها با استفاده از صندوق‌های بازآفرینی شهری، به توسعهٔ محله‌های فرسوده پرداخته‌اند [۶]؛ در ژاپن، پروژه‌های حمل‌ونقل چندمنظوره با سرمایه‌گذاری خصوصی اجرا شده‌اند؛ و در کرهٔ جنوبی، داده‌محوری و پلتفرم‌های هوشمند به ابزار اصلی جذب سرمایه بدل شده‌اند [۷]. شهرهای پیشرفته‌ای مانند لندن، اوکلند و زوریخ نیز از رهگذر مدل‌های نوین مالی، مسیر توسعهٔ اقتصادی و درآمدزایی پایدار را هموار ساخته‌اند. لندن با تأسیس

1. Public–Private Partnership

کمیسیون‌های تخصصی مالی، حمایت از کسب‌وکارها و استراتژی‌هایی همچون «رشد خوب»، به جذب سرمایه و ایجاد مشاغل پایدار کمک کرده است. اوکلند نیز با تمرکز بر سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های عمومی مانند مسکن و حمل‌ونقل، زمینهٔ تقویت مالیات‌های محلی را فراهم آورده و زوریخ با سیاست‌های مالی باثبات و ایجاد دفاتر توسعهٔ اقتصادی، بستر مناسب فعالیت شرکت‌های بین‌المللی را مهیا کرده است [۸].

جدول ۱ سهم سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در تأمین بودجهٔ زیرساختی برای چهار شهر منتخب را طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۴ نشان می‌دهد. درخور یادآوری است با توجه به تفاوت‌های حسابداری و تعریف «سرمایه‌گذاری بخش خصوصی» در هر کشور؛ از منابع رسمی هر کشور/شهر و پایگاه داده PPI بانک جهانی استفاده شده است.

شهرداری تهران نیز با چالش‌هایی نظیر نبود نقشهٔ راه سرمایه‌گذاری، ساختار نهادی ناکارآمد، ضعف قوانین و زیرساخت‌های دیجیتال، و فقدان مدل‌های جذب منابع در پروژه‌های کلان روبه‌رو است.

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۳ متوسط سهم تأمین منابع مالی بودجهٔ مصوب شهرداری تهران از طریق سرمایه‌گذاری و مشارکت‌ها طی ۱۴ سال گذشته؛ تنها ۱/۲ درصد است و بالاترین میزان سهم آن طی سال ۱۳۹۱ با ۳ درصد و سال‌های ۱۳۹۹؛ ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲ نزدیک به ۲/۵ درصد بوده است.

جدول ۱. سهم تقریبی سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در زیرساخت‌های عمرانی و حمل‌ونقل ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۴

شهر (کشور)	نمونه	سهم سرمایه‌گذاری بخش خصوصی از بودجهٔ زیرساخت شهری (برآورد)	توضیح و مبنای برآورد
توکیو (ژاپن)	پروژه‌های حمل‌ونقل چندمنظوره	حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد	در ژاپن مشارکت خصوصی در پروژه‌های حمل‌ونقل چندمنظوره وجود دارد، اما به طور کلی نسبت به حجم کل سرمایه‌گذاری زیربنایی محلی، بخش عمومی نقش غالب دارد. برآورد بر پایهٔ گزارش‌های OECD و اسناد ارزیابی PPP در ژاپن انجام شد [۹].
سئول (کرهٔ جنوبی)	پروژه‌های هوشمندسازی و حمل‌ونقل داده‌محور	حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد	کرهٔ جنوبی و به‌ویژه سئول پروژه‌های هوشمندسازی و حمل‌ونقل داده‌محور را با مشارکت قابل توجه بخش خصوصی (فناوری، پیمانکاران و PPPها) پی گرفته‌اند؛ برآورد با اتکا به اسناد World Bank و گزارش‌های KDI/KSP و تحلیل سرمایه‌گذاری‌های PPI صورت گرفت [۱۰].
اوکلند (نیوزیلند)	پروژه‌های مسکن و حمل‌ونقل منطقه‌ای	حدود ۵ تا ۱۲ درصد	شورای اوکلند تا حد زیادی از منابع داخلی (development rates، contributions، بودجهٔ دولتی) برای سرمایه‌گذاری زیرساختی استفاده می‌کند؛ سهم مستقیم بخش خصوصی تجمیعی در سرمایه‌گذاری حمل‌ونقل/عمرانی محلی معمولاً پایین‌تر است (اما توسعه‌دهندگان خصوصی در پروژه‌های مسکن و تأمین زیرساخت توسعه نقش دارند) [۱۱].
لندن (انگلستان)	پروژه‌های عمرانی	حدود ۲۵ تا ۳۵ درصد	لندن در چند دههٔ اخیر مکانیزم‌های مختلف جذب سرمایهٔ خصوصی (PPP، PFI در گذشته، پروژه‌های توسعهٔ شهری ترکیبی، سرمایه‌گذاری از طریق سرمایه‌گذاران نهادی) را به کار گرفته؛ از نظر ارزش دارایی‌ها بخش عمده‌ای عمومی است اما از منظر تأمین مالی پروژه‌ها، سهم خصوصی (مشارکت، سرمایه‌گذاری پروژه‌ای، سرمایه‌گذاری توسعه‌ای) قابل توجه و نزدیک به یک‌سوم کل سرمایه‌گذاری در برخی دوره‌ها بوده است. این برآورد بر اساس گزارش‌های NAO، چارچوب‌های TfL و London Infrastructure Framework استخراج شد [۱۲].

منبع: برآورد محقق با توجه به منابع یادشده

جدول ۲. سهم تأمین منابع مالی بودجهٔ مصوب شهرداری تهران از طریق سرمایه‌گذاری و مشارکت‌ها ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۴

سال	درآمد حاصل از سرمایه‌گذاری و مشارکت‌ها - میلیارد ریال	عملکرد درآمد و منابع بودجهٔ مصوب شهرداری تهران – میلیارد ریال	سهم تأمین منابع مالی از طریق سرمایه‌گذاری
۱۳۹۰	۱،۴۸۱	۸۴،۶۱۷	٪۱.۸
۱۳۹۱	۴،۱۱۲	۱۳۵،۱۵۲	٪۳
۱۳۹۲	۹۰۸	۱۳۸،۴۱۰	٪۰.۷
۱۳۹۳	۵۶۷	۱۶۲،۱۷۰	٪۰.۳
۱۳۹۴	۶۹۰	۱۷۰،۶۴۲	٪۰.۴
۱۳۹۵	۱،۹۳۱	۲۱۰،۱۳۲	٪۰.۹
۱۳۹۶	۴۷	۱۵۵،۶۹۲	٪۰
۱۳۹۷	۱،۰۶۹	۱۷۱،۷۳۷	٪۰.۶
۱۳۹۸	۳،۶۸۱	۲۱۴،۲۹۶	٪۱.۷
۱۳۹۹	۵،۷۰۷	۲۷۱،۱۸۵	٪۲.۱
۱۴۰۰	۸،۵۵۳	۳۷۲،۵۸۶	٪۲.۳
۱۴۰۱	۹۰	۶۹۰،۸۳۴	٪۰
۱۴۰۲	۲۹،۲۳۷	۱،۱۶۷،۷۶۸	٪۲.۵
۱۴۰۳	۴،۹۴۴	۲،۰۵۶،۵۸۹	٪۰.۲

منبع: استخراج‌شده از گزارش تفریغ بودجهٔ شهرداری تهران در سامانهٔ شفافیت shafaf.tehran.ir

در چنین شرایطی، تدوین مدل بومی‌سازی‌شده سرمایه‌گذاری شهری، الهام‌گرفته از تجربیات جهانی و متناسب با ساختار نهادی و اقتصادی کشور، اقدامی راهبردی برای ارتقای کارایی مدیریت شهری به شمار می‌رود. این شرایط زمینه‌ساز شکل‌گیری مدل‌هایی همچون «سرمایه‌گذاری زیرساختی با بازده مضاعف» شده است؛ به طوری که بر اساس گزارش‌های بین‌المللی، افزایش حدود ۱۰ درصد سرمایه‌گذاری زیرساختی شهری می‌تواند تا ۱ درصد رشد بلندمدت اقتصادی را به همراه داشته باشد. از سوی دیگر، در کشورهای توسعه‌یافته، شهرداری‌ها ظرفیت تولید درآمد داخلی بالایی دارند [۲]. برای نمونه، شهر ابردین در بریتانیا با جمعیتی معادل برخی شهرهای آفریقایی (مانند شهر کنما در سیرالئون)، درآمد سرانه‌ای حدود ۵،۶۱۲ دلار دارد؛ که این رقم حدود از ۱۸ هزار برابر درآمد سرانه ۰/۳۱ دلار برای کنما است [۱۳]. بنابراین، شناسایی و بومی‌سازی الگوهای موفق سرمایه‌گذاری شهری در کشورهای پیشرفته، می‌تواند چشم‌انداز نوینی برای اصلاح نظام سرمایه‌گذاری شهری در ایران و ارتقای نقش شهرداری تهران در توسعهٔ اقتصادی و اجتماعی ایجاد کند. طراحی مدلی بومی و کارآمد که همسو با ظرفیت‌ها، الزامات نهادی و ویژگی‌های بومی کشور باشد، گامی کلیدی در جهت تقویت زیرساخت‌های مالی، ارتقای شفافیت و کارآمدی شهرداری و دستیابی به توسعهٔ پایدار شهری خواهد بود.

۲. مبانی نظری

یکی از راهکارهای کلیدی برای دستیابی به توسعهٔ شهری پایدار، تنوع‌بخشی به منابع مالی و به‌کارگیری ابزارهای نوآورانهٔ سرمایه‌گذاری است. بررسی تجربیات کشورهای توسعه‌یافته در این مقاله نشان می‌دهد موفقیت شهرداری‌ها در هدایت سرمایه‌گذاری‌های شهری، مستلزم ایجاد استقلال مالی، تقویت نظام درآمدزایی محلی و تعامل اثربخش با بخش خصوصی است. در بسیاری از شهرهای پیشرفته، شهرداری‌ها از مدل‌های ترکیبی درآمدی بهره می‌برند که در آن منابع مالی محلی نظیر مالیات‌های شهری، عوارض خدماتی و بهره‌برداری از دارایی‌های عمومی مانند زمین، نقش‌محوری ایفا می‌کنند [۱۴].

۲–۱. تعریف شهرداری

شهرداری‌ها به عنوان نهادهای عمومی غیردولتی در چارچوب قوانین ملی عمل می‌کنند و مسئولیت مدیریت خدمات شهری در محدودهٔ مشخصی را به عهده دارند. وظایف این نهادها در پنج حوزهٔ اصلی دسته‌بندی می‌شود: وظایف عمرانی (مانند احداث

معابر، نظارت بر طرح‌های شهری و رعایت مقررات ساختمانی)، وظایف خدماتی (شامل مدیریت پسماند، نگهداری فضای سبز و تأسیسات عمومی)، وظایف نظارتی (نظیر صدور پروانه‌های ساختمانی و مقابله با تخلفات عمرانی)، وظایف رفاهی (از جمله احداث اماکن عمومی مانند پارک‌ها و سرویس‌های بهداشتی) و مدیریت منابع (شامل تنظیم بودجه، وصول عوارض و ارزش‌گذاری املاک). در ایران به دلیل نبود مدیریت یکپارچهٔ شهری، این مسئولیت‌ها میان سازمان‌های مختلف توزیع شده است [۱۵].

۲-۲. تعریف سرمایه

سرمایه از اساسی‌ترین عناصر در تجارت و ابزاری کلیدی برای کسب سود محسوب می‌شود. در تعریف گسترده، سرمایه به هر نوع دارایی اقتصادی گفته می‌شود که توانایی تولید کالاها یا خدمات اقتصادی دیگر را دارد؛ چه به صورت بالفعل و چه به شکل بالقوه. این دارایی می‌تواند به صورت نقدی (پول نقد) یا غیرنقدی (مانند اموال، حقوق ویژه یا خدمات) وجود داشته باشد [۱۶].

۲-۳. تعریف سرمایه‌گذاری

سرمایه‌گذاری به معنای تخصیص منابع مالی با هدف ایجاد درآمد یا افزایش ارزش آتی است که شامل دو نوع اصلی می‌شود: سرمایه‌گذاری واقعی (مانند خرید املاک یا تجهیزات) و سرمایه‌گذاری مالی (مانند خرید سهام یا اوراق مشارکت که بازده آن به صورت نقدی است). از دیدگاه اقتصادی، تصمیم به سرمایه‌گذاری زمانی صورت می‌گیرد که بازده مورد انتظار از نرخ بهرهٔ بازار بیشتر باشد. نظریه‌هایی مانند «شتاب سرمایه‌گذاری» نیز نشان می‌دهند حجم سرمایه‌گذاری با تغییرات سطح تولید مرتبط است. سرمایه‌گذاران پیش از اقدام، پروژه‌ها را از نظر اقتصادی ارزیابی می‌کنند و درآمد حاصل معمولاً از عملکرد تولیدی یا خدماتی پروژه ناشی می‌شود. در نهایت، شرایط تقسیم سود و بازده سرمایه‌گذاری در قراردادهای مشارکت مشخص می‌شود [۱۷].

۲-۴. مفهوم سرمایه‌گذاری شهری

در طرح‌های شهری، سرمایه‌گذاری شهری به معنای تخصیص منابع مالی، انسانی و زیرساختی برای توسعهٔ پایدار و هوشمندانهٔ فضاهای شهری است. این نوع سرمایه‌گذاری به دنبال بهبود کیفیت زندگی شهروندان، ارتقای زیرساخت‌های عمومی، خلق فرصت‌های اقتصادی و بهینه‌سازی کارکردهای زیست‌پذیر شهرها است. به خلاف سرمایه‌گذاری صرفاً اقتصادی، سرمایه‌گذاری شهری نیازمند نگاه چندبُعدی به ابعاد اجتماعی، محیطی، اقتصادی و فناوری است [۱۶].

سرمایه‌گذاری شهری زمانی موفق است که [۱۸]:

- مبتنی بر طرح‌های جامع شهری و نیازهای واقعی باشد؛
- دارای بازده اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی باشد؛
- از مشارکت ذی‌نفعان محلی بهره گیرد؛
- از ابزارهای نوین تأمین مالی استفاده کند.

شهرداری‌ها به عنوان نهادهای اصلی اداره‌کنندهٔ فضاهای شهری، نقش کلیدی در جذب، هدایت و مدیریت سرمایه‌گذاری ایفا می‌کنند. در کشورهایی با نظام حکمرانی شهری قوی، شهرداری‌ها با بهره‌گیری از ابزارهایی مانند مشارکت عمومی ـ خصوصی، صدور اوراق مشارکت شهری، و جذب سرمایه‌گذار خارجی، پروژه‌های زیرساختی و خدماتی گسترده‌ای را اجرایی کرده‌اند [۱۹].

۳. مدل‌های نوین سرمایه‌گذاری شهری

بر اساس گزارش سازمان ملل متحد، بهره‌وری اقتصادی شهرها به‌مراتب بالاتر از روستاهاست و افزایش سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های شهری تأثیر چشمگیری بر رشد اقتصادی دارد. در این راستا، کشورهای پیشرفته از ابزارهای نوین سرمایه‌گذاری شهری بهره گرفته‌اند که شامل مالیات بر ارزش زمین[1]، ابزارهای مالی ترکیبی[2]، اوراق قرضهٔ شهری[3]، صندوق‌های توسعهٔ

1. LVC: Land Value Capture
2. Blended Finance
3. Municipal Bonds

شهری، نهادهای ویژهٔ مالی[1] (SPV) و به‌ویژه مشارکت عمومی ـ خصوصی می‌شود [۲]. به عنوان نمونه، در آمریکا بیش از ۵۰ هزار نهاد محلی از اوراق قرضه معاف از مالیات برای توسعهٔ زیرساخت‌ها استفاده کرده‌اند و ارزش بازار این اوراق در سال ۲۰۲۳ حدود ۴ تریلیون دلار برآورد شده است [۲۰]. در چین، دولت‌های محلی از نهادهای ویژهٔ مالی برای تأمین مالی زیرساخت‌هایی بهره برده‌اند که در سال ۲۰۲۴ معادل تقریباً ۵۰ درصد تولید ناخالص داخلی کشور بوده است [۲۱]. در شهر مدلین کلمبیا، سود حاصل از فعالیت شرکت‌های دولتی شهری به عنوان منبع درآمد شهرداری برای بهبود زیرساخت‌های شهری، مانند ساخت کتابخانه‌ها، پارک‌ها و سیستم‌های حمل‌ونقل مورد استفاده قرار گرفته است [۲۲] و در سائوپائولو برزیل، بهره‌برداری از افزایش ارزش زمین در قالب مدل عملیات مشترک شهری به منظور تأمین مالی پروژه‌هایی مانند پل استایادا استفاده شده که به بازسازی محله‌ها و گسترش شبکهٔ مترو کمک کرده است [۲۳].

در ادبیات جهانی، مدل‌های زیر به عنوان الگوهای نوین سرمایه‌گذاری شهری شناخته می‌شوند:

الف) مدل مشارکت عمومی ـ خصوصی (PPP): از رایج‌ترین و موفق‌ترین مدل‌ها در کشورهای پیشرفته است که موجب انتقال بخشی از ریسک به بخش خصوصی و افزایش بهره‌وری می‌شود. از این مدل به عنوان یک راهکار کلیدی در تأمین مالی پروژه‌های شهری یاد می‌شود که در آن مسئولیت‌ها و امور بین شهرداری‌ها (بخش عمومی) و سرمایه‌گذاران خصوصی تقسیم می‌شود. این شیوه در طیف روش‌های تأمین مالی، حد واسط میان روش‌های سنتی و خصوصی‌سازی کامل قرار دارد و با طراحی الگوهای متنوع قراردادی مانند ساخت ـ بهره‌برداری ـ انتقال[2] یا طراحی ـ تدارک ـ ساخت ـ تأمین مالی[3]، امکان اجرای پروژه‌های مختلف را فراهم می‌کند. مطالعات نشان می‌دهند اگرچه مدل مشارکت عمومی ـ خصوصی ممکن است با چالش‌هایی مانند پیچیدگی قراردادها، افزایش هزینه‌های مصرف‌کننده و ساختارهای اداری سنگین همراه باشد، اما از نظر کارایی در پروژه‌های سرمایه‌ای و خدماتی، مزایای قابل توجهی نسبت به روش‌های سنتی دارد. گزارش‌های بانک جهانی و انجمن کانادایی از مدل مشارکت عمومی ـ خصوصی حاکی از برتری این روش از نظر کاهش هزینه و زمان اجراست. پیشنهاد کارشناسان، تلفیق مدل مشارکت عمومی ـ خصوصی با ابزارهای بازار مالی برای بهره‌برداری از مزایای هر دو روش است، بدون آنکه محدود به بازار پول یا سرمایه خاصی باشد. این رویکرد ترکیبی می‌تواند به بهینه‌سازی فرایند تأمین مالی پروژه‌های شهری منجر شود [۲۴]. روش‌های مختلفی برای مشارکت بخش خصوصی با شهرداری‌ها در سرمایه‌گذاری‌های عمرانی وجود دارد که برخی از مهم‌ترین آن‌ها شامل موارد زیر می‌شوند: سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی[4] و سرمایه‌گذاری غیرمستقیم خارجی[5] از جملهٔ این روش‌ها هستند. همچنین روش‌های قراردادی مانند ساخت، بهره‌برداری و انتقال، ساخت، بهره‌برداری، تملک و انتقال[6]، و ساخت، بهره‌برداری و تملک[7] مورد استفاده قرار می‌گیرند. دیگر شیوه‌ها شامل ساخت، اجاره و انتقال[8]، بیع متقابل[9]، مشارکت مدنی و همچنین روش‌های ترکیبی و سایر شکل‌های مشارکت می‌شوند. این روش‌ها بیشترین کاربرد را در پروژه‌های سرمایه‌گذاری شهرداری‌ها دارند و بسته به نوع پروژه و شرایط، یکی از آن‌ها انتخاب می‌شود [۲۵].

ب) مدل توسعهٔ زمین‌شهری مشارکتی[10] (CULD): در این مدل، افزایش ارزش زمین ناشی از برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری عمومی، صرف تأمین هزینه‌های توسعه و زیرساخت‌ها می‌شود. ایده و عملکردهای اساسی این مدل تأمین مالی این است که شهرداری با توسعه‌دهندگان یا مالکان زمین قرارداد شهری امضا کند. در این توافق‌نامه‌ها، توسعه‌دهندگان متعهد می‌شوند که تمام هزینه‌های تأسیسات زیرساختی شهری، برنامه‌ریزی شهری و سایر هزینه‌های توسعه ناشی از پروژهٔ مسکونی

1. SPV: Special Purpose Vehicle
2. BOT: Build, Operate,Transfer
3. EPCF: Engineering, Procurement, Construction, And Finance
4. FDI: Foreign Direct Investment
5. FPI: Foreign Portfolio Investment
6. BOOT: Build, Own, Operate, Transfer
7. BOO: Build, Own, Operate
8. BLT: Build, Lease, Transfer
9. Buyback
10. CULD: Collaborative Urban Land Development

پیشنهادی را بپردازند. همچنین، سرمایه‌گذاران متعهد می‌شوند که درصد قابل توجهی از مسکن به‌صرفه را ایجاد کنند. این مدل نه‌تنها به تأمین مسکن برای اقشار کم‌درآمد کمک می‌کند، بلکه با هدف ایجاد ترکیب اجتماعی متنوع در مناطق شهری، به عدالت اجتماعی و توسعهٔ پایدار شهری نیز خدمت می‌رساند [۲۶].

ت) مدل سرمایه‌گذاری مبتنی بر ارزش افزودهٔ زمین (LVC): از دیگر نوآوری‌های قابل توجه در این حوزه، مکانیزم ارزش افزودهٔ زمین است که در آن شهرداری‌ها از ارزش افزودهٔ ایجادشده توسط مداخلات عمومی مانند توسعهٔ زیرساخت‌ها یا اصلاح طرح‌های شهری بهره‌برداری مالی می‌کنند. این ابزار شامل روش‌هایی مانند فروش حقوق توسعه، مالیات ارزش زمین، عوارض بهبود و بهره‌برداری از تغییرات کاربری می‌شود. نظریهٔ پایه که مکانیسم این مدل بر اساس آن بنا شده است؛ به این اصل بازمی‌گردد که سرمایه‌گذاری‌ها و پروژه‌های توسعهٔ شهری مانند احداث سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی، پارک‌ها یا سایر امکانات عمومی، معمولاً باعث افزایش ارزش زمین و املاک خصوصی پیرامون آن‌ها می‌شوند؛ بنابراین این مکانیسم به سازمان‌های عمومی و دولتی این امکان را می‌دهد که بخشی از این ارزش افزوده را برای تأمین مالی پروژه‌های عمومی و توزیع مجدد مزایای توسعهٔ شهری به صورت عادلانه جذب کنند [۲۷].

ث) مدل اقتصاد شهری چرخشی[1] (CUE): اقتصاد چرخشی به عنوان یک سیستم اقتصادی پایدار، در مقابل مدل سنتی خطی (استخراج ـ تولید ـ دورریز) قرار می‌گیرد و بر کاهش ضایعات، استفادهٔ مجدد و بازیافت مواد تأکید دارد که در نهایت باعث کاهش اثرات زیست‌محیطی و افزایش رشد اقتصادی می‌شود. این مفهوم که نخستین‌بار در دههٔ ۱۹۷۰ مطرح شد، امروزه به عنوان راهکاری کلیدی برای دستیابی به توسعهٔ پایدار شناخته می‌شود. اقتصاد چرخشی در سه سطح خرد (محصولات و شرکت‌ها)، میانی (پارک‌های صنعتی) و کلان (شهرها و کشورها) قابل اجراست و بر سه اصل اساسی استوار است: حفظ ارزش منابع از طریق تعمیر، بازتولید و استفادهٔ مجدد؛ بهینه‌سازی مصرف منابع اولیه؛ و طراحی هوشمندانه محصولات و خدمات با در نظر گرفتن چرخهٔ کامل عمر آن‌ها. این رویکرد نه‌تنها باعث کاهش فشار بر محیط زیست می‌شود، بلکه مزایای اقتصادی و اجتماعی قابل توجهی نیز به همراه دارد [۱].

ج) سرمایه‌گذاری مبتنی بر داده و شهرهای هوشمند: شهرهای هوشمند با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا[2]، هوش مصنوعی[3] و تحلیل داده‌های بزرگ[4] به دنبال حل چالش‌های شهری و بهبود کیفیت زندگی شهروندان هستند. این پروژه‌ها نه‌تنها بر زیرساخت‌های فیزیکی، بلکه بر جنبه‌های غیرفیزیکی مانند مشارکت شهروندان و همکاری بین بخش‌های عمومی و خصوصی نیز تأکید دارند. با توجه به تغییرات گسترده در سبک زندگی، به‌ویژه پس از همه‌گیری کووید ۱۹، شهرهای هوشمند به عنوان راه‌حلی پایدار برای مسائل شهری مانند حمل‌ونقل، انرژی، و محیط زیست مطرح شده‌اند. سرمایه‌گذاری در شهرهای هوشمند نیازمند تحلیل دقیق داده‌ها برای ارزیابی هزینه‌ها و منافع است. پروژه‌های شهر هوشمند معمولاً با سرمایه‌گذاری کلان همراه هستند، بنابراین استفاده از داده‌ها برای تعیین شاخص‌های عملکردی استاندارد و تضمین بازده سرمایه[5] ضروری است. برای مثال، در کرهٔ جنوبی، پروژه‌هایی مانند «چالش شهر هوشمند» با همکاری دولت محلی، دانشگاه‌ها، و شرکت‌های خصوصی اجرا می‌شوند و از داده‌ها برای ارزیابی اثربخشی راه‌حل‌های ارائه‌شده استفاده می‌کنند [۲۸].

ح) مدل صندوق‌های توسعهٔ شهری[6] (MDF): تشکیل صندوق‌های توسعهٔ شهری در بیش از ۶۰ کشور جهان پیاده‌سازی شده است که با ترکیب منابع کمک بلاعوض، وام و ابزارهای مشارکتی، سرمایه‌گذاری‌های شهری را هدفمند می‌سازند. این صندوق‌ها اغلب به عنوان واسطهٔ مالی بین دولت مرکزی و شهرداری‌ها عمل کرده و ظرفیت نهادی شهرداری‌ها را نیز تقویت می‌کنند.

1. CUE: Circular Urban Economy
2. IoT: Internet of Things
3. AI: Artificial Intelligence
4. Big Data
5. ROI: Return On Investment
6. MDF: Municipal Development Funds

۴. تجربهٔ کشورهای پیشرفته در استفاده از مدل‌های نوین سرمایه‌گذاری شهری

تجارب بین‌المللی و شهری نشان می‌دهد موفقیت در جذب سرمایه‌گذاری شهری به مجموعه‌ای از عوامل سیاسی، زیرساختی، اقتصادی و فرهنگی وابسته است.

- **چین:** در چین، شهرهای بزرگی همچون شانگهای و پکن به دلیل پتانسیل بالای رشد و موقعیت جغرافیایی استراتژیک، سرمایه‌گذاران را جذب کرده‌اند و برای تحلیل رقابت‌پذیری از روش‌هایی همچون تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)[۱] و وزن‌دهی یکسان (EW)[۲] بهره گرفته‌اند [۲۹].
- **ایتالیا:** در ایتالیا، به‌ویژه شهر میلان، مطالعات مبتنی بر مدل‌سازی معادلات ساختاری[۳] نشان داده‌اند کیفیت زندگی و عوامل فرهنگی نقش مهمی در جلب سرمایه دارند، هرچند برداشت ذی‌نفعان از ویژگی‌های شهری ممکن است متفاوت باشد [۳۰].
- **اسپانیا، لتونی و لیتوانی:** در سطح مدیریت شهری، تجربهٔ شهرهایی همچون بارسلون در اسپانیا [۳۱]، ریگا در لتونی [۳۲] و کاوناس در لیتوانی [۳۳] نشان داده که زیرساخت‌های حمل‌ونقل، خدمات پشتیبانی کسب‌وکار، ثبات سیاسی و حکمرانی خوب و زیرساخت‌های مناسب و ثبات سیاسی، تأثیر مستقیمی بر تصمیم سرمایه‌گذاران دارند.
- **پرتغال:** شهرداری‌هایی مانند لیسبون و پورتو در پرتغال با استفاده از ابزارهای نوین مدل‌سازی مانند پویایی سیستم‌ها و نقشه‌برداری شناختی فازی[۴]، تأثیر سیاست‌ها بر جذب سرمایه را به صورت راهبردی شبیه‌سازی کرده‌اند. این تجربه‌ها بر ضرورت برنامه‌ریزی یکپارچه، تحلیل داده‌محور و تقویت نهادهای حکمرانی شهری در مسیر توسعهٔ سرمایه‌گذاری تأکید دارند [۳۴].
- **بریتانیا:** در بریتانیا، مدل‌های سرمایه‌گذاری شهری نوآورانه با تمرکز بر احیای بافت‌های شهری و ارتقای خدمات محلی طراحی شده‌اند. یکی از نمونه‌های شاخص، پروژهٔ شرکت‌های بازآفرینی شهری[۵] است که با حمایت دولت مرکزی و با مشارکت فعال شهرداری‌ها، به‌ویژه در شهرهایی همچون منچستر، لیورپول و بیرمنگام اجرا شد. این شرکت‌ها با هدف جذب سرمایه‌گذاری خصوصی، بازسازی مناطق صنعتی متروکه، ایجاد فضاهای عمومی و افزایش کیفیت زندگی شهری فعالیت داشتند. نقش شهرداری‌ها در این پروژه‌ها، تسهیل‌گری در صدور مجوزها، مشارکت در تأمین زیرساخت‌های پایه و تنظیم مقررات برای تشویق مشارکت بخش خصوصی بود. همچنین در قالب طرح معاملات شهر[۶]، دولت بریتانیا به شهرداری‌های بزرگ اختیار بیشتری برای برنامه‌ریزی مالی و اولویت‌بندی پروژه‌های شهری اعطا کرد [۳۵].
- **هلند:** در هلند، تمرکز بر مدل‌های مشارکتی و پایدار در سرمایه‌گذاری شهری است که نمونهٔ آن در پروژه (Regionale Ontwikkelingsmaatschappij) دیده می‌شود. این شرکت‌های توسعهٔ منطقه‌ای[۷]، با ترکیب سرمایه‌های دولتی، شهرداری‌ها و بخش خصوصی، در توسعهٔ مناطق شهری، نوسازی مسکن، زیرساخت‌های حمل‌ونقل عمومی و طرح‌های محیط زیستی نقش مؤثری ایفا کرده‌اند. برای مثال در پروژهٔ «زیداس آمستردام[۸]»، شهرداری آمستردام با مشارکت شرکت‌های توسعهٔ منطقه‌ای و سرمایه‌گذاران بین‌المللی، یک منطقهٔ مالی و تجاری مدرن را توسعه داد که با طراحی هوشمندانهٔ شهری و دسترسی پایدار همراه است. نقش شهرداری در این میان، طراحی چارچوب حقوقی، نظارت بر تطابق محیط زیستی، و هدایت فرایند توسعه بود که به خلق یک مدل موفق از سرمایه‌گذاری شهری منجر شد [۳۶].

---

۱. نوعی روش آماری برای کاهش ابعاد داده‌ها که گاهی به شاخص‌های کم‌اهمیت وزن منفی می‌دهد و در موارد خاص، از دقت آن‌ها می‌کاهد.

۲. روش ساده‌تری است که به همهٔ شاخص‌ها وزن یکسان می‌دهد، اما ممکن است شاخص‌های غیرضروری را نیز در نظر بگیرد.

3. SEM: Structural Equation Modeling
4. FCM: Fuzzy Cognitive Mapping
5. URCs: Urban Regeneration Companies
6. City Deals
7. ROM's: Regionale Ontwikkelings Maatschappijen
8. Zuidas Amsterdam

در ادامه خلاصه‌ای از تجربهٔ کشورها در استفاده از مدل‌های نوین سرمایه‌گذاری شهری نشان داده شده است.

نام کشور: آلمان [۲۶]

محور کلیدی مدل: مدل توسعهٔ زمین شهری مشارکتی (CULD)، مدل سرمایه‌گذاری مبتنی بر ارزش زمین (LVC)

نام پروژه: پروژه‌های در شهرهای مونیخ، برلین، و اشتوتگارت نشان می‌دهند این مدل نه‌تنها ذخیرهٔ مسکن به‌صرفه را افزایش داده، بلکه از طریق توزیع عادلانه هزینه‌ها و منافع، به اهداف توسعهٔ پایدار شهری نیز کمک کرده است. پروژهٔ پارک‌اشتات شوابینگ در مونیخ که یک زمین صنعتی قدیمی به محله‌ای مدرن و یکپارچه با ۱۵۰۰ واحد مسکونی و فضای اداری برای حدود ۱۲ هزار نفر تبدیل شد.

نقش شهرداری: تنظیم‌کننده و طراح سیاست توسعهٔ زمین، طرف قرارداد و مذاکره‌کننده با مالکان و سرمایه‌گذاران، استفاده از افزایش ارزش زمین برای منافع عمومی، نظارت و تضمین اجرای سیاست‌های اجتماعی

نام کشور: هلند (آمستردام و برومن) [۳۷]

محور کلیدی مدل: اقتصاد شهری چرخشی (CUE)، مدل سرمایه‌گذاری مبتنی بر ارزش زمین (LVC)

نام پروژه: این شهر با هفت اصل بنیادین، همچون طراحی پیمانه‌ای، تولید ماژولار، استفاده از انرژی تجدیدپذیر، و مدل‌های کسب‌وکار خلاقانه، به سمت حذف ضایعات و ایجاد ارزش افزوده از منابع حرکت کرده است. پروژهٔ «بازتوسعهٔ داک‌لندهای شرقی آمستردام» نمونه‌ای موفق از برنامه‌ریزی شهری نوآورانه در کشور هلند است که با هدف تبدیل یک منطقهٔ صنعتی متروکه به محله‌ای پویا، پایدار و انسان‌محور از دههٔ ۱۹۸۰ آغاز شد. این پروژه با تأکید بر طراحی میان‌مرتبه، استفاده از معماری متناسب با بافت تاریخی، و اولویت دادن به پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری، فضاهای عمومی سبز و کاربری‌های مختلط، توانست تعادل میان حفظ هویت تاریخی و نیازهای زندگی مدرن را برقرار سازد.

نقش شهرداری: سیاست‌های این شهر نشان می‌دهد چگونه شهرداری می‌تواند نقش سیاست‌گذار، تسهیل‌گر و سرمایه‌گذار، تسهیل در تعامل با ساکنان و حمایت از رویکردهای پایدار همچون بام‌های سبز و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را به طور هم‌زمان ایفا کند.

نام کشور: سنگاپور [۳۸]

محور کلیدی مدل: مدل سرمایه‌گذاری مبتنی بر داده و شهرهای هوشمند، مدل مشارکت عمومی ـ خصوصی

نام پروژه: توسعهٔ منطقهٔ مارینا بی سند[1] (گران‌ترین پروژهٔ ساختمانی در قرن ۲۱)[2]

نقش شهرداری: سنگاپور با ترکیب حکمرانی دیجیتال و مدل‌های مشارکت عمومی ـ خصوصی، توانسته یکی از نظام‌های کارآمد سرمایه‌گذاری شهری در آسیا را ایجاد کند. زیرساخت‌های فناوری اطلاعات در این کشور، مبنای اصلی برای مدل‌های مشارکت دیجیتال و جذب سرمایه بین‌المللی هستند. تجربهٔ سنگاپور در توسعهٔ منطقهٔ مارینا بی سند نشان می‌دهد برنامه‌ریزی بلندمدت، همکاری بین شهرداری و بخش خصوصی، و استفاده از فناوری‌های پایدار، کلید موفقیت در ایجاد تعادل انرژی شهری هستند.

نام کشور: بریتانیا [۳۹]

محور کلیدی مدل: مدل مشارکت عمومی ـ خصوصی

نام پروژه: از جمله پروژه‌های موفق می‌توان به مجتمع تجاری، مسکونی و تفریحی لیورپول وان[3] و بندر بریستول[4] اشاره کرد که به عنوان نمونه‌هایی از احیای موفق مناطق شهری با مشارکت بخش خصوصی شناخته می‌شوند.

نقش شهرداری: شهرداری نقش تنظیم‌گر ایفا می‌کند؛ به این معنا که چارچوب‌های کلان برنامه‌ریزی شهری را تعیین می‌کنند، زمین‌ها را با شروط مشخص (مانند الزام به ساخت مسکن به‌صرفه) به فروش می‌رسانند و از ابزارهایی همچون «توافقنامه‌های بخش ۱۰۶» برای الزام توسعه‌دهندگان به مشارکت در تأمین زیرساخت‌های عمومی بهره می‌گیرند. از سوی دیگر، توسعه‌دهندگان بخش خصوصی وظیفهٔ طراحی، تأمین مالی، اجرا و حتی نگهداری پروژه‌ها را به عهده دارند. رویکرد منعطف در برنامه‌ریزی شهری نیز امکان تطبیق پروژه‌ها با تغییرات بازار و شرایط اقتصادی را فراهم می‌سازد.

1. Marina Bay Sands
2. The Lee Kuan Yew School of Public Policy at the National University of Singapore and Institute of Real Estate Studies (IRES) at National University of Singapore, 2016
3. Liverpool One
4. Bristol Harbourside

نام کشور: کرهٔ جنوبی [۲۸] [۴۰]
محور کلیدی مدل: مدل مشارکت عمومی ـ خصوصی، سرمایه‌گذاری مبتنی بر داده و شهرهای هوشمند
نام پروژه: شهر سجونگ شامل خدماتی همچون حمل‌ونقل خودران و مدیریت هوشمند زباله است. در اکو دلتا سیتی بوسان، مدیریت توسط شرکت کی واتر[1] انجام شده و تمرکز بر پایداری محیطی و فناوری‌های مدیریت آب و انرژی است. در دائجون، شهرداری با همکاری دانشگاه‌ها، پروژه‌های هوش مصنوعی و کلان‌داده را در قالب «شهر علمی جدید» پیاده‌سازی کرده و در شهرهای سیهئونگ و داگو نیز شهرداری‌ها آزمایشگاه‌های زنده‌ای را برای خدمات هوشمند محیط زیستی، امنیتی و تاب‌آوری شهری ایجاد کرده‌اند.
نقش شهرداری: در شهر سئول، شهرداری با ایجاد پلتفرم‌های شفاف اطلاعات شهری، امکان دسترسی سرمایه‌گذاران به اطلاعات پروژه‌ها و داده‌های بازار را فراهم کرده است. مدل‌های «سرمایه‌گذاری مبتنی بر داده» و «مشارکت شهروندی» از نوآوری‌های کلیدی این کشور هستند. شهرداری‌ها در قالب نهادهای محلی یا شرکت‌های توسعهٔ شهری، مدیریت پروژه‌ها و اتصال ذی‌نفعان را به عهده دارند.

۵. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش با هدف بررسی مدل‌های موفق سرمایه‌گذاری شهری در کشورهای توسعه‌یافته و ارائهٔ مدل پیشنهادی برای شهرداری تهران، از رویکرد کیفی و تطبیقی استفاده می‌کند. روش‌شناسی تحقیق بر پایهٔ مطالعات موردی تطبیقی استوار است که امکان تحلیل عمیق تجربیات موفق کشورهای منتخب را فراهم می‌آورد و هم‌زمان اجازه می‌دهد تا این تجربیات با شرایط محلی تهران تطبیق داده شود. انتخاب این رویکرد به دلیل ماهیت اکتشافی و کاربردی تحقیق است، جایی که تمرکز بر شناسایی الگوها، عوامل موفقیت و چالش‌های سرمایه‌گذاری شهری قرار دارد، بدون نیاز به آزمون فرضیات کمی یا جمع‌آوری داده‌های اولیه گسترده. جامعهٔ پژوهش شامل کشورهای توسعه‌یافته با اقتصادهای شهری پیشرفته است که تجربیات موفق در سرمایه‌گذاری شهری دارند. نمونه‌گیری به صورت هدفمند[2] انجام شده و کشورهای آلمان، هلند، کرهٔ جنوبی، انگلستان، سنگاپور و ژاپن انتخاب شده‌اند. معیارهای انتخاب عبارت‌اند از: ۱- سطح بالای توسعهٔ شهری و اقتصادی (بر اساس شاخص‌هایی مانند GDP شهری، رتبه‌بندی شهرهای هوشمند و گزارش‌های سازمان ملل متحد مانند UN-Habitat)؛ ۲- تنوع جغرافیایی و فرهنگی برای پوشش رویکردهای مختلف (اروپایی، آسیایی)؛ ۳- وجود مدل‌های نوآورانه مانند مشارکت عمومی ـ خصوصی (PPP)، ارزش افزودهٔ زمین (LVC) و حکمرانی داده‌محور. همچنین، داده‌ها عمدتاً از منابع ثانویه جمع‌آوری شده‌اند تا اطمینان از اعتبار و قابلیت تکرارپذیری حاصل شود. تحلیل داده‌ها به صورت کیفی و با رویکرد تماتیک[3] انجام شده است.

۶. بررسی تطبیقی وضعیت فعلی شهرداری تهران و چالش‌های سرمایه‌گذاری شهری

شهرداری تهران به عنوان بزرگ‌ترین نهاد مدیریت شهری ایران، نقش کلیدی در توسعهٔ پایدار و مدیریت خدمات عمومی دارد. این نهاد مسئولیت سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های کلان‌شهری را به عهده دارد که تأمین منابع مالی آن از چالش‌های اصلی به شمار می‌رود. بودجهٔ شهرداری تهران عمدتاً از طریق منابع داخلی مانند عوارض شهری، مالیات بر ارزش افزوده، فروش املاک و مشارکت‌های عمومی ـ خصوصی تأمین می‌شود، اما به دلیل محدودیت منابع مالی و بروکراسی پیچیده، مواجهه با مشکلاتی نظیر کسری بودجه و تأخیر در اجرای پروژه‌ها امری رایج است. در سال‌های اخیر، شهرداری تهران پروژه‌های متنوعی با مدل‌های سرمایه‌گذاری مختلف اجرا کرده است که برخی از آن‌ها موفق و برخی با شکست مواجه شده‌اند. برای مثال، پروژه‌های مشارکت عمومی ـ خصوصی در حوزهٔ حمل‌ونقل و زیرساخت‌های شهری گامی مثبت به شمار می‌روند، اما عدم شفافیت و ضعف در مدیریت ریسک، از موانع عمده به حساب می‌آیند. با توجه به شرایط خاص تهران از جمله جمعیت بالا، مشکلات زیست‌محیطی و زیرساخت‌های فرسوده، نیاز به به‌کارگیری مدل‌های نوین و نوآورانه سرمایه‌گذاری بیش از پیش احساس می‌شود. فرصت‌هایی مانند استفاده از فناوری‌های نوین مالی (فین‌تک)، تأمین مالی جمعی و فناوری‌های دیجیتال

1. K-Water
2. Purposive Sampling
3. Thematic Analysis

می‌تواند به افزایش کارایی و شفافیت کمک کند. همچنین اصلاح چارچوب‌های قانونی و سیاست‌گذاری، ایجاد همکاری بین دستگاه‌های مختلف و تقویت مشارکت‌های عمومی ـ خصوصی از ضروریات تحقق این هدف است؛ بنابراین، شهرداری تهران باید ضمن بهره‌گیری از تجربیات موفق جهانی، با توجه به شرایط بومی، مدلی منعطف، شفاف و مشارکتی برای سرمایه‌گذاری شهری طراحی و پیاده‌سازی کند تا بتواند به اهداف توسعهٔ پایدار و مدیریت بهینهٔ منابع دست یابد.

بر اساس تلفیق نظریه‌های سرمایه‌گذاری شهری، حکمرانی خوب، و نوآوری فناورانهٔ چارچوب مفهومی طراحی شده است. در این مدل، سرمایه‌گذاری شهری حاصل تعامل پنج مؤلفهٔ کلیدی است:

۱. ***شهرداری هوشمند:*** نهادی شفاف، داده‌محور و چابک که توانایی تدوین سیاست‌های سرمایه‌پذیر را دارد.

۲. ***زیرساخت‌های نهادی:*** چارچوب‌های قانونی، سیاستی و سازمانی که بستر مناسبی برای مشارکت بخش خصوصی فراهم می‌سازند.

۳. ***ابزارهای نوین مالی:*** شامل مدل‌های مشارکت عمومی ـ خصوص، اوراق قرضهٔ شهری، ارزش‌افزودهٔ زمین و صندوق‌های توسعهٔ شهری.

٤. ***فناوری‌های دیجیتال:*** استفاده از اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و تحلیل داده‌های بزرگ برای بهینه‌سازی تصمیم‌گیری سرمایه‌ای.

۵. ***مشارکت چندسطحی:*** مشارکت فعال شهروندان، شرکت‌ها، نهادهای ملی و بین‌المللی در پروژه‌های شهری.

این مؤلفه‌ها در کنار هم، ظرفیت جذب سرمایه‌گذاری پایدار را برای شهر تهران فراهم می‌کنند.

۷. مدل پیشنهادی برای شهرداری تهران: مدل ترکیبی «شهر هوشمند سرمایه‌پذیر»[1]

مدل ترکیبی «شهر هوشمند سرمایه‌پذیر» تلفیقی از مدل‌های موفق جهانی در حوزهٔ سرمایه‌گذاری شهری است که برای شرایط خاص تهران طراحی شده است. این مدل با بهره‌گیری از ظرفیت‌های دیجیتال، مشارکت عمومی ـ خصوصی و نوآوری، امکان تأمین مالی پایدار پروژه‌های شهری را فراهم می‌سازد.

- **معرفی مدل**

این مدل، تلفیقی از مدل مشارکت عمومی ـ خصوصی، جذب سرمایه خطرپذیر[2] و توسعهٔ هوشمند مبتنی بر داده است که برای تأمین مالی پایدار پروژه‌های شهری تهران طراحی شده است.

- **ارکان مدل**

هستهٔ شهرداری هوشمند (Smart Municipality Core)	• شهرداری تهران باید به نهادی داده‌محور، شفاف، چابک و دیجیتالی تبدیل شود تا سرمایه‌گذاران داخلی و خارجی به آن اعتماد کنند.
صندوق سرمایه‌گذاری شهری (شهر تهران: سازمان سرمایه گذاری و مشارکت های مردمی) (Urban Investment Fund)	• نگاه سرمایه گذاری بلندمدت استراتژیک با هدف جذب سرمایه از منابع متنوع پایدار (خصوصی، دولتی، خارجی، مردمی). و نه فقط پروژه محور و مقطعی
پلتفرم شهری جذب سرمایه (Urban Capital Platform)	• سامانه‌ای شفاف برای معرفی پروژه‌های شهری، هزینه‌ها، فرصت‌های بازگشت سرمایه و دعوت از سرمایه‌گذاران.
نواحی آزمایشی نوآور (Urban Innovation Zones)	• تعیین مناطقی برای اجرای پروژه‌های نمونه در حوزهٔ حمل‌ونقل، انرژی، ساخت‌وساز سبز، خدمات شهری با مشارکت بخش خصوصی.
ضمانت‌نامهٔ شهرداری	• ارائهٔ ضمانت‌های قراردادی و مشوق‌های مالیاتی برای پروژه‌های منتخب
نظارت عمومی و حکمرانی مشارکتی	• مشارکت نهادهای مدنی، دانشگاهی و مردم در پایش شفاف عملکرد پروژه‌ها از طریق ابزارهای دیجیتال.

1. Smart Investable City Model
2. VC: Venture capital

- **مراحل اجرای مدل**

- **مزایای مدل**

– جذب منابع مالی غیر دولتی با ریسک پایین برای شهرداری
– افزایش اعتماد عمومی و شفافیت مالی
– تسریع اجرای پروژه‌های عمرانی و خدماتی
– همسویی با روندهای جهانی توسعهٔ پایدار شهری
– گسترش تعامل شهروندان با مدیریت شهری
– ارتقای جایگاه بین‌المللی تهران در شاخص‌های سرمایه‌گذاری شهری

۸. نمونهٔ کاربردی: «بازآفرینی میدان شوش با مدل سرمایه‌پذیر هوشمند»

تعریف پروژه: بازآفرینی منطقهٔ شوش به عنوان قطب حمل‌ونقل هوشمند و بازار سبز

۱. ***تأمین مالی***: ۴۰ درصد شهرداری، ۳۰ درصد بخش خصوصی، ۲۰ درصد صندوق سرمایه‌گذاری شهری، ۱۰ درصد کمک‌های بین‌المللی

۲. ***مشوق***: تخفیف مالیاتی ۵ساله و تسهیل در مجوز ساخت

۳. ***بازگشت سرمایه***: از طریق بهره‌برداری خدمات شهری، عوارض هوشمند، اجارهٔ بهینهٔ فضاهای شهری

این مدل می‌تواند در قالب یک سند سیاستی در شهرداری تهران تدوین شده و با استفاده از تجربیات کشورهای پیشرو مانند آلمان، کرهٔ جنوبی و هلند، بومی‌سازی شود.

۹. نتیجه‌گیری

مرور تجربیات سرمایه‌گذاری شهری در کشورهای پیشرفته نشان می‌دهد موفقیت در این حوزه مستلزم بهره‌گیری از مدل‌های نوآورانه، مشارکت چندسطحی و توجه به زمینه‌های نهادی و فناورانه است. شهرداری‌های موفق با اتکا به ابزارهای نوین مالی و تکنولوژیک، توانسته‌اند از ظرفیت‌های بخش خصوصی، سرمایه‌گذاران خارجی و منابع پایدار محلی بهره‌برداری کنند. در اغلب کشورها، شفافیت مالی، اصلاحات نهادی، قوانین تشویقی و وجود زیرساخت‌های دیجیتال، بستر لازم برای جذب سرمایه را فراهم

کرده‌اند. بررسی تطبیقی کشورهایی نظیر انگلستان، کرهٔ جنوبی، هلند و ژاپن نشان می‌دهد هیچ مدل یکسانی برای سرمایه‌گذاری شهری وجود ندارد؛ بلکه هر کشور با توجه به زمینهٔ فرهنگی، اقتصادی و نهادی خود، به طراحی مدل مناسب اقدام کرده است؛ بنابراین، شهرداری تهران نمی‌تواند فقط یک الگوی خارجی را کپی کند، بلکه باید با تحلیل تطبیقی و درک عمیق از محیط داخلی، به بومی‌سازی الگوهای موفق بپردازد. مدل پیشنهادی برای شهرداری تهران باید ترکیبی از تأمین مالی مشارکتی عمومی ـ خصوصی، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین (مانند پلتفرم‌های دیجیتال و داده‌محوری)، نهادسازی برای شفافیت مالی، تقویت درآمدهای پایدار و تدوین سیاست‌های حمایتی از سرمایه‌گذاران باشد. همچنین، آموزش نیروی انسانی متخصص، بهبود حکمرانی شهری و ایجاد نهادهای واسط توسعه‌ای، از دیگر الزامات این مدل محسوب می‌شود. در نهایت، عبور از بحران‌های مالی و ورود به مسیر توسعهٔ پایدار شهری، نیازمند تغییر نگرش شهرداری‌ها نسبت به سرمایه‌گذاری، شفاف‌سازی فرایندها، استفاده از ظرفیت‌های بخش خصوصی و ایجاد اکوسیستم نهادی کارآمد است. تحقق این مهم، گامی اساسی به منظور ارتقای کیفیت زندگی شهری، رفاه اجتماعی و توسعهٔ پایدار کلان‌شهر تهران خواهد بود.

پیشنهادهای سیاستی

برای تحقق سرمایه‌گذاری پایدار شهری در تهران بر اساس تجربیات جهانی، اقدامات سیاستی زیر پیشنهاد می‌شود:

۱. تدوین «نقشهٔ راه سرمایه‌گذاری شهری» با زمان‌بندی مشخص برای پروژه‌های کلان با همکاری دستگاه‌های دولتی، نهادهای عمومی و فعالان اقتصادی.
۲. ایجاد «نظام رتبه‌بندی سرمایه‌گذاری شهری» با امتیازدهی به پروژه‌های مسئولیت‌پذیر اجتماعی، زیست‌محیطی و نوآورانه برای ارائهٔ مشوق‌های متناسب.
۳. اصلاح و به‌روزرسانی قوانین شهری برای تسهیل در اجرای قراردادهای مشارکتی عمومی ـ خصوصی، جذب، و استفاده از اوراق مشارکت شهری.
۴. توسعهٔ زیرساخت‌های داده‌محور و ایجاد «پلتفرم شفافیت سرمایه‌گذاری» با امکان ارائهٔ اطلاعات پروژه‌ها، مزایا، بازده و ریسک‌ها به صورت برخط.
۵. اجرای آزمایشی مدل پیشنهادی شهرهوشمند سرمایه‌پذیر در مناطق خاص تهران با شاخص‌های متفاوت (مانند شوش در منطقهٔ ۱۶) و ارزیابی بازخوردها برای اصلاحات آتی.
۶. ایجاد صندوق‌های توسعهٔ محلی برای جذب منابع خرد از شهروندان و سرمایه‌گذاران داخلی.
۷. ارائهٔ بسته‌های تشویقی شامل تخفیف‌های مالیاتی، مجوزهای سریع و معافیت‌های تعرفه‌ای برای پروژه‌های دارای بازده اقتصادی و اجتماعی بالا.
۸. آموزش و توانمندسازی نیروی انسانی شهرداری در حوزه‌های مالی، حقوقی، اقتصادی و فناوری‌های شهری.

منابع

1. Hodgkinson G, Jallal H, Martin S. Circular economy in cities. Abbasi SM, translator. Reisi SH, scientific editor; Deyani GH, language editor. Isfahan: General Directorate of Communications and International Affairs of Isfahan Municipality; 2021. [Persian].
2. United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). Unlocking the Potential of Cities: Financing Sustainable Urban Development; 2023.
3. Correia J, Ferreira F, Meidute-Kavaliauskiene I, Pereira L, Zopounidis C, Correia R. Factors influencing urban investment attractiveness: an FCM-SD approach. Factors influencing urban investment attractiveness: an FCM-SD approach. 2020(4):237-50.
4. Terraza HC, Schuring MC, Kemperman MP, Quintero Garzon MC. Sustainable Urban and Regional Development Umbrella Program (SURGE): FY2021 Annual Report.
5. Mirdehghan A, Almodarresi A. [Investigating and identifying factors affecting investment encouragement in Ashkezar Municipality]. Geographical Sciences. 2020 Fall-Winter;33:12–21. [Persian]
6. Xi'an Jiaotong-Liverpool University. Urban Redevelopment – Global Expert Dialogue [Internet]. Suzhou: XJTLU; [cited 2025 June 12]. Available from: https://www.xjtlu.edu.cn/en/professional-services/urban-and-environmental-studies-university-research-centre/global-exchange-and-local-cooperation/global-expert-dialogue/urban-redevelopment
7. Choi YS. Smart city development projects in the Republic of Korea. R-Economy. 2020. Vol. 6. Iss. 1. 2020;6(1):40-9.
8. Karimnia S. [Financial management system of Tehran Municipality: pathology and solutions in light of a comparative study of ten cities – London, Zurich, New York, Toronto, Auckland, Vienna, Beijing, Tokyo, Dubai, and Istanbul]. Pajuheshhaye Hoghooghi (Legal Researches). 2022 Nov 22;21(51):513–44. [Persian]
9. OECD (2024), OECD Economic Surveys: Japan 2024, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/41e807f9-en.
10. Hwang JS, Heo YJ, Han A, Hwang JS, Ju B. Smart cities in the Republic of Korea_A journey towards institutionalization and innovation.
11. Auckland Transport Capital Investment Programme 2024 to 2025, Available from: https://at.govt.nz/
12. National Audit Office. Lessons Learned: Private Finance for Infrastructure. HC 767, 19 March 2025.
13. Löffler E. The state of intermediary city finances: A rapid analysis [Internet]. Barcelona: United Cities and Local Governments (UCLG); 2016 [cited 2025 Nov 15]. Available from: https://www.gold.uclg.org/sites/default/files/Loffler_EN.pdf
14. McKinsey & Company. Unlocking the full potential of city revenues [Internet]. 2019 Jul 12 [cited 2025 Nov 15]. Available from: https://www.mckinsey.com/industries/public-sector/our-insights/unlocking-the-full-potential-of-city-revenues
15. Ragheb M, Shahri R. Financial resource shortages in municipalities and the substitution of sustainable revenues. Journal of Urban Design Studies and Urban Research. 2020 Summer;3(2):89–98. [Persian]
16. Faridvand E. Investment in urban projects. Economic Journal (Monthly-Quarterly Journal of Economic Research and Policies). 2018;18(9–10):133–147. [Persian]
17. Amiri MR. Pathology of investment in municipalities as a suitable financial tool to improve capital attraction. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Architecture, Civil Engineering, Urban Planning, Environment & Islamic Art Horizons in the Statement of the Second Step of the Revolution; 2023; Tabriz, Iran .Available from: https://civilica.com/doc/1959981. [Persian]
18. United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). How to formulate a national urban policy [Internet]. Nairobi: UN-Habitat; 2019 [cited 2025 Nov 15]. Available from: https://unhabitat.org/sites/default/files/documents/2019-05/
19. OECD. Financing Cities of Tomorrow [Internet]. Paris: OECD Publishing; 2023 [cited 2025 Nov 15]. Available from:

https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/07/financing-cities-of-tomorrow_56b303e0/51bd124a-en.pdf
20. Municipal Securities Rulemaking Board. Municipal Securities: Financing the Nation's Infrastructure [Internet]. Washington (DC): MSRB; 2021 [cited 2025 June 12]. Available from: https://www.msrb.org/sites/default/files/MSRB-Infrastructure-Primer.pdf
21. Collier A, Biswas R. A Bridge Too Far: Can China's LGFVs tackle their debt issues? CKGSB Knowledge. 2025 Jan 3 [cited 2025 June 12]. Available from: https://english.ckgsb.edu.cn/knowledge/article/a-bridge-too-far-can-chinas-lgfvs-tackle-their-debt-issues/
22. Hoelscher K. Business, Politics and Urban Peacebuilding in Colombia: The Case of Empresas Públicas de Medellín. ReliefWeb [cited 2025 June 12]. Available from: https://reliefweb.int/report/colombia/business-politics-and-urban-peacebuilding-colombia-case-empresas-p-blicas-de-medell
23. Lincoln Institute of Land Policy. Financing A City's Vision: The Social Mobilization of Land Values in São Paulo [cited 2025 June 12]. Available from: https://www.lincolninst.edu/case-studies/financing-citys-vision/
24. Rajabi Z, Kazemi Laksar H, Bahramkhah M. An investigation into external financing methods for municipal projects. Majournal [Internet]. 10 Sep 2021 [cited 2025 June 12];5(18):188–9. Available from: https://majournal.ir/index.php/ma/article/view/1063. [Persian]
25. Amiri MR. Pathology of investment in municipalities as appropriate financing tools to improve capital attraction. In: 3rd International Conference on Architecture, Civil Engineering, Urban Development, Environment, and Horizons of Islamic Art in the Second Step Statement of the Revolution; 2023; Tabriz, Iran [Internet]. Civilica; 2023 [cited 2025 Jul 21]. Available from: https://civilica.com/doc/1959981. [Persian]
26. Koetter T, Sikder SK, Weiss D. The cooperative urban land development model in Germany-An effective instrument to support affordable housing. Land Use Policy. 2021 Aug 1;107:105481.
27. Fattahian M, Nouraei H, Nasresfahani R. Meta-synthesis of land value capture (LVC) mechanisms and their implementation tools. Urban Economics. 2024;9(2):31–46. [Persian]
28. Kim J. The Evaluation and Significance of Smart City Projects in Korea: Targeting Enterprises within the Smart City Association Convergence Alliance. Sustainability. 2024 Mar 25;16(7):2697.
29. Zhang Y, Xu M, Liu J. Urban competitiveness evaluation in China: A comparative study using PCA and equal weighting methods. Sustainability. 2023;15(14):11234. doi:10.3390/su151411234
30. De Noni I, Orsi L, Zanderighi L. Attributes of Milan influencing city brand attractiveness: a case study of Milan. Journal of Destination Marketing & Management. 2014 Aug;3(4):218–26. doi:10.1016/j.jdmm.2014.06.001
31. Sáez L, Periáñez I, Heras-Saizarbitoria I. Measuring urban competitiveness: ranking European large urban zones. Journal of Place Management and Development. 2017 Dec 4;10(5):479-96.
32. Litavniece L. The evaluation of a town's attractiveness: a case study of Balvi city. In: Proceedings of the 7th Annual International Scientific Conference "New Dimensions in the Development of Society"; 2011 Oct 6–7; Jelgava, Latvia. Jelgava: Latvia University of Agriculture; 2012. p. 170–9. ISBN: 9789984480527.
33. Bruneckienė J, Zykienė I, Stankevičius V. Critical analysis of city attractiveness factors in Lithuania–Poland cross-border regions: the viewpoints of businessmen and youth. Journal of Geography, Politics and Society. 2016 Dec 5;6(2):45-58.
34. Assunção ERGTR, Ferreira FAF, Meidutė-Kavaliauskienė I, Zopounidis C, Pereira LF, Correia RJC. Rethinking urban sustainability using fuzzy cognitive mapping and system dynamics. Int J Sustain Dev World Ecol. 2020;27(3):261–75. doi:10.1080/13504509.2020.1722973
35. Heurkens E. Private sector-led urban development projects: Management, partnerships and effects in the Netherlands and the UK. TU Delft; 2012 Sep 4.
36. Nijkamp P, Groot HG, Evers D. A case study on the Amsterdam Zuidas mega-project: public–private partnership and regional development companies. VU University Amsterdam, Department of Spatial Economics Working Paper. 2009;1–45.
37. Yeager N. Urban Planning in Amsterdam [Internet]. Medium; [cited 2025 Jul 21]. Available from: https://medium.com/@nicholasyeager2020/urban-planning-in-amsterdam-52577c57e9a0

38. Sikumbang IH, Yola L. The transformation of the marina bay sand area: the history of managing the energy balance of Singapore. International Review of Humanities Studies. 2023 Jul 31;8(2):3.
39. Heurkens E. Private sector-led urban development projects: Management, partnerships and effects in the Netherlands and the UK. TU Delft; 2012 Sep 4.
40. Hwang JS, Heo YJ, Han A, Hwang JS, Ju B; World Bank Group Korea Office. Smart Cities in the Republic of Korea: A Journey Toward Institutionalization and Innovation [Internet]. Innovation and Technology Note No. 9. Washington (DC): World Bank Group; Sep 2022 [cited 2025 Jul 21]. Available from: http://documents.worldbank.org/curated/en/099501509212220541

Urban Development Policy Making

Home Page: https://judpm.ir

Online ISSN: 3092-6564

Strategic Analysis of Water Recycling and Reuse Using the SWOT–QSPM Model within the Framework of Sustainable Governance

Hamideh Baseri Baghsiyah[1] | Omid Afkhami[2] | Maryam Afkhami[3*]

1. Ph.D. Student in Water Governance, School of Governance, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: hamidehbaseri@ut.ac.ir
2. Researcher in the field of International Relations and Strategic Management, Tehran, Iran, Email: afkhami.o@yahoo.com
3. Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Infrastructure Governance, School of Governance, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: mm.afkhami@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 23 September 2025
Revised 02 November 2025
Accepted 21 November 2025
Published Online 01 January 2026

Keywords:
Water Security,
Multi-level Decision-Making,
Sustainable Urban Governance,
Water Policy,
Tehran Municipality.

ABSTRACT

Increasing water stress resulting from population growth, urban development, and climate change has intensified the need to pay greater attention to water recycling and reuse in Tehran. This study employs SWOT and QSPM models, with a focus on the role of the Tehran Municipality, to analyze the internal and external factors influencing water recycling governance. Data was collected through document analysis and expert interviews. The results indicate that Tehran possesses considerable technical and research capacities; however, weaknesses in integrated governance, limited financial resources, and low social acceptance constitute the main barriers to the development of these policies. The QSPM analysis shows that competitive (ST) strategies are the most attractive; in particular, partnerships with the private sector to enhance treatment plant efficiency and attract international financial resources ranked highest. Moreover, the formulation of national standards for reclaimed water quality and the establishment of economic incentives are considered key supportive strategies. Accordingly, strengthening institutional coordination, developing sustainable financial instruments, and enhancing public awareness can facilitate the transition from a purely technical management approach to sustainable and participatory urban water governance.

Cite this article: Baseri Baghsiyah, H.; Afkhami, O. & Afkhami, M. (2026). Strategic Analysis of Water Recycling and Reuse Using the SWOT–QSPM Model within the Framework of Sustainable Governance. *Urban Development Policy Making*, 3 (1), 51-67. DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.559246.1074

© Hamideh Baseri Baghsiyah, Omid Afkhami, Maryam Afkhami
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.559246.1074

Introduction

In recent years, the city of Tehran has faced severe challenges in water resource management due to population growth, urban expansion, industrial development, and the increasing impacts of climate change. Dependence on limited surface water resources and inter-basin transfers has made the urban water system vulnerable and unsustainable. Under these conditions, water recycling and reuse have emerged as key strategies to enhance water security and promote sustainable urban governance. Recycled water can be applied for various non-potable uses such as irrigation of green spaces, industrial cooling, street washing, and even controlled groundwater recharge. However, despite existing technical capacities, the implementation of water reuse policies in Iran—and particularly in Tehran—has been hindered by fragmented governance, weak economic incentives, and limited public acceptance. Therefore, the present study aims to conduct a strategic analysis of water recycling and reuse in Tehran using SWOT–QSPM models within the framework of sustainable water governance, with a focus on the operational role of Tehran Municipality.

Materials and methods

This study employed a mixed-method qualitative–quantitative approach. First, a comprehensive literature review and document analysis were conducted to identify internal and external factors influencing urban water recycling governance in Tehran. Expert interviews were then performed with specialists from the Tehran Municipality, Tehran Water and Wastewater Company, and academic researchers to validate and prioritize these factors. The identified factors were classified into four main groups: strengths, weaknesses, opportunities, and threats. Subsequently, the SWOT matrix was constructed, and the Quantitative Strategic Planning Matrix (QSPM) was used to assess the relative attractiveness of alternative strategic options. Each factor was rated on a 1–4 scale (low to high attractiveness), and weighted scores were calculated to determine the Total Attractiveness Score (TAS) for each strategic option. The analysis focused specifically on competitive (ST) strategies, which leverage existing strengths to counter external threats.

Result

The results indicated that Tehran has significant technical and institutional capacities for the development of water recycling, including modern wastewater treatment infrastructure, technical expertise, and active research and innovation centers. However, the sector is constrained by the lack of integrated governance, financial instability, weak coordination among agencies, and limited public trust. The QSPM results showed that among the evaluated strategies, competitive (ST) strategies achieved the highest attractiveness scores. Within this group, the following strategies ranked as most effective:

1. Public–private partnerships (PPP) for enhancing wastewater treatment efficiency,
2. Attracting international financial resources (e.g., UNDP, FAO),
3. Establishing national quality and safety standards for recycled water, and
4. Developing economic and fiscal incentive policies for industries and agriculture.

These findings highlight that the most promising path for Tehran Municipality lies in combining its technical and scientific strengths with financial diversification, international collaboration, and participatory governance to overcome institutional and climatic challenges.

Discussion and Conclusion

The SWOT–QSPM analysis reveals that although Tehran possesses advanced technical capacities and skilled human resources, its fragmented institutional structure and weak policy integration impede progress in sustainable water recycling. Strengths such as existing treatment plants, research capacity, and innovative local enterprises should be leveraged to address threats like climate-induced water scarcity and institutional resistance to policy reform. Furthermore, integrating water recycling policies into Tehran's sustainable urban governance framework requires multi-level coordination between municipal, provincial, and national institutions.

From a governance perspective, the study recommends establishing an independent urban water reuse regulatory authority and a Tehran Water Sustainability Fund to ensure policy coherence and long-term financial support. In the technological dimension, promoting innovation accelerators and smart monitoring systems can enhance efficiency and transparency. In the socio-cultural dimension, implementing public awareness campaigns and the "Safe Recycled Water" branding can foster public trust and acceptance. Finally, strengthening international water diplomacy and cooperation with global cities (such as Melbourne and Barcelona) can accelerate the transfer of knowledge and technology.

In conclusion, if Tehran Municipality adopts a sustainable, participatory, and data-driven governance model, water recycling can evolve from a purely technical initiative into a comprehensive governance system—enhancing water security, resource efficiency, and environmental justice for the megacity of Tehran.

پیشرفت شهری
سیاستگذاری
سایت نشریه: https:// judpmi.ir
شاپا الکترونیکی: ۶۵۶۴-۳۰۹۲

تحلیل راهبردی بازچرخانی و استفادهٔ مجدد از آب با بهره‌گیری از مدل SWOT QSPM- در چارچوب حکمرانی پایدار

حمیده باصری باغ‌سیاه[۱] | امید افخمی[۲] | مریم افخمی[۳*]

۱. دانشجوی دکتری حکمرانی آب، دانشکدهٔ حکمرانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: hamidehbaseri@ut.ac.ir
۲. پژوهشگر حوزهٔ روابط بین‌الملل و مدیریت استراتژیک. رایانامه: afkhami.o@yahoo.com
۳. نویسندهٔ مسئول، استادیار گروه حکمرانی امور زیربنایی، دانشکدهٔ حکمرانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: mm.afkhami@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۳۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱

کلیدواژه:
امنیت آبی،
تصمیم‌سازی چندسطحی،
حکمرانی پایدار شهری،
سیاست‌گذاری آب،
شهرداری تهران.

چکیده

افزایش فشارهای آبی ناشی از رشد جمعیت، توسعهٔ شهری و تغییرات اقلیمی، ضرورت توجه به بازچرخانی و استفادهٔ مجدد از آب را در تهران افزایش داده است. این پژوهش با بهره‌گیری از مدل‌های SWOT و QSPM و با تمرکز بر نقش شهرداری تهران، به تحلیل عوامل داخلی و خارجی اثرگذار بر حکمرانی بازچرخانی آب پرداخته است. داده‌ها از طریق تحلیل اسنادی و مصاحبه با خبرگان گردآوری شد. نتایج نشان داد تهران از ظرفیت‌های فنی و پژوهشی قابل توجهی برخوردار است، اما ضعف در حکمرانی یکپارچه، کمبود منابع مالی و پذیرش اجتماعی پایین از موانع اصلی توسعهٔ این سیاست‌ها به شمار می‌روند. تحلیل QSPM بیانگر آن است که راهبردهای رقابتی (ST) بیشترین جذابیت را دارند؛ به‌ویژه مشارکت با بخش خصوصی برای ارتقای بهره‌وری تصفیه‌خانه‌ها و جذب منابع مالی بین‌المللی بالاترین رتبه را کسب کردند. همچنین، تدوین استانداردهای ملی کیفیت آب بازیافتی و ایجاد مشوق‌های اقتصادی از راهبردهای کلیدی حمایت‌کننده به شمار می‌روند. بر این‌اساس، تقویت هماهنگی نهادی، توسعهٔ ابزارهای مالی پایدار و ارتقای آگاهی عمومی می‌تواند مسیر گذار از مدیریت صرفاً فنی به حکمرانی پایدار و مشارکتی آب شهری را فراهم سازد.

استناد: باصری باغ‌سیاه، حمیده؛ افخمی، امید و افخمی، مریم (۱۴۰۵). تحلیل راهبردی بازچرخانی و استفادهٔ مجدد از آب با بهره‌گیری از مدل SWOT QSPM- در چارچوب حکمرانی پایدار. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۳ (۱) ۵۱-۶۷.

DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.559246.1074

© حمیده باصری باغ‌سیاه، امید افخمی، مریم افخمی
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.559246.1074

۱. مقدمه

افزایش جمعیت، توسعهٔ کالبدی شهرها، رشد تقاضای آب در بخش‌های خانگی، فضای سبز و خدمات شهری، و تأثیرات فزایندهٔ تغییرات اقلیمی، سبب شده است تا کلان‌شهرهایی همچون تهران با بحران فزایندهٔ کمبود و ناپایداری منابع آبی روبه‌رو شوند. مسائل مرتبط با کمبود آب در کلان‌شهرها را نمی‌توان صرفاً فنی دانست؛ بلکه همان‌طور که راجرز و هال[1] [۱] و تورتاجادا[2] [۲] اشاره می‌کنند، ناکارآمدی حکمرانی و ضعف هماهنگی نهادی نیز نقش اساسی در تشدید بحران‌های آبی دارد. وابستگی شدید به منابع سطحی و انتقال بین‌حوضه‌ای آب، از یک‌سو، و افزایش تولید پساب شهری از سوی دیگر، ضرورت بازچرخانی و استفادهٔ مجدد از آب را به عنوان یکی از راهبردهای کلیدی در تحقق حکمرانی پایدار آب شهری برجسته کرده است [۳]. در مورد شهر تهران به‌ویژه از سال ۱۳۹۶ به بعد، هم‌زمان با تشدید دوره‌های خشکسالی، موجب شد مجموعه‌ای از سیاست‌های جدید در حوزهٔ مدیریت تقاضا، توسعهٔ تصفیه‌خانه‌ها، و استفاده از پساب برای آبیاری فضای سبز و خدمات شهری در تهران اتخاذ شود؛ سیاست‌هایی که بازچرخانی و استفادهٔ مجدد از آب را به عنوان یکی از محورهای اصلی برنامه‌های آب شهری برجسته کردند.

بازچرخانی آب در شهرها به معنای بازیابی، تصفیه و استفادهٔ مجدد از جریان‌های آبی مصرف‌شده برای مصارف مختلفی همچون آبیاری فضاهای سبز، شست‌وشوی معابر، تغذیهٔ مصنوعی سفره‌های زیرزمینی و حتی برخی مصارف صنعتی است [۴]. این رویکرد، که بخشی از اقتصاد چرخشی آب محسوب می‌شود، می‌تواند با کاهش برداشت از منابع محدود، به پایداری تأمین آب شهری و ارتقای تاب‌آوری اقلیمی کمک کند [۵].

مرور سیاست‌ها و وضعیت بازچرخانی آب در ایران نشان می‌دهد سهم آب بازیافتی هنوز بسیار اندک است و سازوکارهای سیاستی یکپارچه برای توسعهٔ آن به صورت فراگیر پیاده نشده‌اند. به عنوان مثال، برآورد شده است که سرانهٔ تجدیدپذیر آب کشور از بیش از ۱۷۰۰ متر مکعب در سال ۲۰۱۴ به کمتر از ۱۰۰۰ متر مکعب تا سال ۲۰۳۰ خواهد رسید؛ که نشانهٔ «تنش آبی» جدی است [۴]. از سوی دیگر، مطالعات نشان می‌دهند در ایران بسیاری از منابع آب حاشیه‌ای[3] همچون فاضلاب شهری تصفیه‌شده، آب خاکستری و آب حاصل از زهکشی کشاورزی، یا مورد استفاده کامل قرار نگرفته‌اند یا استفاده‌شان در مصارف با خطر پایین محدود شده است [۴]. به‌کارگیری این منابع نیازمند چارچوب‌های حکمرانی، استانداردهای ایمنی، تعریف دقیق ذی‌نفعان و سازوکارهای اقتصادی مناسب است [۶].

در سال‌های اخیر، بازچرخانی و استفادهٔ مجدد از آب به عنوان یکی از رویکردهای مؤثر برای مقابله با بحران کم‌آبی و تحقق حکمرانی پایدار آب مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات اخیر نشان می‌دهد بازچرخانی آب در جهان وارد مرحله‌ای شده است که در آن ابعاد فناورانه، نهادی و حکمرانی به صورت هم‌زمان مورد توجه قرار گرفته‌اند. پژوهش خان و همکاران[4] [۷] با تحلیل سیستماتیک آلاینده‌های نوپدید و ارزیابی ریسک‌های مرتبط با پساب تصفیه‌شده، نشان می‌دهد چالش‌های کیفیت آب بازیافتی نسبت به دهه‌های گذشته پیچیده‌تر شده و سیاست‌گذاری در این حوزه باید بر پایش مستمر، استانداردسازی و مدیریت ریسک استوار باشد. این یافته‌ها مستقیم با موضوع پژوهش حاضر مرتبط است، زیرا توسعهٔ استفاده از پساب در تهران نیز نیازمند چارچوب‌های نظارتی دقیق و مبتنی بر شواهد است. در سطح سیاست‌گذاری منطقه‌ای، مالی‌ناوسکایته[5] و همکاران [۸] با بررسی تجربهٔ کشورهای جنوبی اروپا نشان می‌دهند موفقیت پروژه‌های بازچرخانی نه به فناوری، بلکه به کیفیت حکمرانی به‌ویژه وضوح نقش نهادها، شفافیت قانونی، و وجود مشوق‌های اقتصادی وابسته است. این نتیجه به طور خاص اهمیت نقش شهرداری‌ها را در مدیریت بازچرخانی آب برجسته می‌کند؛ موضوعی که در پژوهش حاضر نیز محوریت دارد. همچنین پایدایش و مزنگا[6] [۹] در تحلیل جهانی اقتصاد چرخشی آب نشان می‌دهند گذار از مدیریت خطی به مدیریت چرخشی نیازمند یکپارچه‌سازی نهادها، اصلاح ساختار تصمیم‌گیری و ارتقای ظرفیت‌های محلی است. از این منظر، حکمرانی شهری و چندسطحی نقش کلیدی در

1. Rogers & Hall
2. Tortajada
3. Marginal Water Resources
4. Khan et al.
5. Malinauskaite
6. Peydayesh, & Mezzenga

موفقیت سیاست‌های بازچرخانی دارد. در حوزهٔ ایران، پژوهش السعیدی و دهناوی [۴] با بررسی چالش‌های بازچرخانی در کشور تأکید می‌کنند که نبود سیاست‌های پایدار، ضعف هماهنگی بین نهادها و کمبود سازوکارهای مالی از موانع اصلی توسعهٔ این سیاست‌هاست؛ یافته‌ای که هم‌راستا با نتایج این پژوهش درخصوص چالش‌های تهران است. این مطالعه تأکید دارد که تحقق بازچرخانی پایدار مستلزم تقویت حکمرانی چندسطحی، هماهنگی نهادی و آموزش عمومی است. در سطح اجتماعی، مطالعهٔ اسعد[1] و همکاران [۱۰] در منطقهٔ منا نشان می‌دهد پذیرش اجتماعی و اعتماد به کیفیت پساب تصفیه‌شده عامل تعیین‌کننده‌ای در موفقیت پروژه‌های بازچرخانی است؛ عاملی که در مدیریت شهری تهران نیز باید مورد توجه قرار گیرد.

از منظر حکمرانی، مرور نظام‌مند لاسور[2] و همکاران [۱۱] نشان می‌دهد مدل‌های موفق بازچرخانی در جهان بر مبنای حکمرانی چندسطحی و مشارکت شهرها، دولت‌های ملی و بخش خصوصی بنا شده‌اند. نووالیا[3] و همکاران [۱۲] نیز در بررسی بازسازی رودخانه‌های شهری تأکید می‌کنند که هماهنگی بین سطوح مختلف مدیریت شهری و ملی، ظرفیت اصلی تحقق پروژه‌های پایدار آب است. مجموعهٔ این یافته‌ها تأکید دارد که بازچرخانی آب نه فقط یک موضوع فنی، بلکه یک مسئلهٔ حکمرانی و سیاست‌گذاری چندسطحی است. ریچ[4] و همکاران [۱۳] در مرور نظام‌مند خود نشان دادند علی‌رغم پیشرفت‌های فنی در پروژه‌های بازچرخانی، چالش‌هایی همچون عدم هماهنگی استانداردها، کمبود داده‌های پایش و مقاومت اجتماعی نسبت به استفاده از آب بازیافتی، در بسیاری از کشورها تداوم دارد. آن‌ها تأکید کردند که طراحی سیاست‌های بازچرخانی باید بر مبنای چارچوب حکمرانی تطبیقی[5] و یادگیرنده صورت گیرد تا بهبود مستمر و اعتماد اجتماعی حاصل شود. شفیعی نیستانک و روزبهانی[6] [۱۴] با استفاده از مدل شبکهٔ بیزی، به ارزیابی ریسک استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده در مصارف مختلف شهری پرداختند. یافته‌های آنان نشان داد ریسک استفاده از پساب در کشاورزی، فضای سبز، تغذیهٔ مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی و صنعت به‌ترتیب ۲۶/۹، ۱۷/۷، ۱۸/۷ و ۱۱/۹ درصد برآورد می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد نبود ارزیابی ریسک و دستورالعمل‌های استاندارد از چالش‌های اصلی حکمرانی بازچرخانی در ایران است. غفوری[7] و همکاران [۱۵] نیز به بررسی سیستم‌های غیرمتمرکز بازچرخانی فاضلاب در مناطق شهری شهر پردیس پرداختند. آنان با تحلیل مدل‌های مختلف تصفیه و توزیع، نتیجه گرفتند که توسعهٔ سیستم‌های بازچرخانی در مقیاس محلی[8] می‌تواند فشار بر شبکه‌های آبرسانی مرکزی را کاهش دهد؛ اما تحقق آن نیازمند چارچوب قانونی، سرمایه‌گذاری پایدار و مشارکت جامعهٔ محلی است. این مطالعه تأکید می‌کند که سیاست‌های بازچرخانی بدون لحاظ بعد اجتماعی و نهادی، پایدار نخواهند بود.

در تهران، که بیش از ۸ میلیون نفر ساکن دائمی دارد، متوسط سرانهٔ آب تجدیدپذیر سالانه به کمتر از ۳۰۰ مترمکعب رسیده است؛ رقمی که نشان‌دهندهٔ وضعیت تنش آبی شدید است. با وجود آنکه سالانه بیش از ۸۰۰ میلیون مترمکعب پساب شهری تولید می‌شود، سهم بازچرخانی و استفادهٔ مجدد از آن هنوز در سطحی بسیار محدود قرار دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد بسیاری از ظرفیت‌های بالقوه مانند پساب تصفیه‌خانه‌های جنوب، اکباتان و شهرک قدس می‌تواند برای آبیاری فضاهای سبز شهری و تغذیهٔ سفره‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد، اما نبود سیاست‌های یکپارچه، ضعف هماهنگی نهادی و کمبود مشوق‌های اقتصادی مانع بهره‌برداری مؤثر از این منابع شده است [۶].

در سال‌های اخیر، شهرداری تهران در چارچوب سیاست‌های محیط زیستی و مدیریت پایدار شهری، تلاش‌هایی برای استفاده از پساب تصفیه‌شده در آبیاری فضای سبز، پارک‌ها و کمربندهای سبز پیرامونی آغاز کرده است. با این‌حال، چالش‌هایی همچون نبود استانداردهای فنی واحد، کمبود زیرساخت‌های انتقال و ذخیره، ناهماهنگی بین نهادهای متولی و پایین بودن سطح اعتماد عمومی همچنان مانع توسعهٔ فراگیر این رویکرد است. در این‌میان، شهرداری‌ها به‌ویژه در کلان‌شهرهایی مانند تهران، نقش

1. Assad
2. Lasseur
3. Novalia
4. Rich
5. Adaptive Governance
6. Shafiee Neyestanak & Roozbahani
7. Ghafoori
8. Neighborhood-scale

کلیدی در طراحی و اجرای سیاست‌های بازچرخانی ایفا می‌کنند؛ چراکه مدیریت فضاهای سبز، زیرساخت‌های آبیاری، شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب‌های سطحی و آموزش شهروندان در حوزهٔ عملکرد آن‌ها قرار دارد. بنابراین، تحلیل راهبردی سیاست‌های بازچرخانی آب در شهرداری تهران با رویکرد حکمرانی پایدار می‌تواند به شناسایی موانع، ظرفیت‌ها و فرصت‌های توسعهٔ این رویکرد کمک کند.

اگرچه مطالعات متعددی در سال‌های اخیر به بررسی ابعاد فنی، اقتصادی یا اجتماعی بازچرخانی آب پرداخته‌اند، اما پژوهش حاضر با تمرکز بر حکمرانی شهری و نقش شهرداری تهران تمایزی اساسی با تحقیقات پیشین دارد. بخش عمده‌ای از مطالعات موجود، رویکردهای فنی و کیفیت پساب را بررسی کرده‌اند یا در سطح ملی و کلان به سیاست‌گذاری پرداخته‌اند؛ در حالی که این پژوهش با به‌کارگیری مدل تلفیقی SWOT–QSPM، ابعاد نهادی، بین‌سازمانی و راهبردی بازچرخانی آب را در سطح مدیریت شهری تحلیل کرده است. افزون بر آن، پژوهش حاضر برای نخستین‌بار راهبردهای مشخص و قابل اجرا را بر اساس اولویت‌های کمی‌شده (QSPM) در حوزهٔ بازچرخانی آب ارائه می‌دهد؛ راهبردهایی که بر تعامل شهرداری با شرکت آب و فاضلاب، سازمان محیط زیست و سایر نهادهای حکمرانی تأکید دارند. این رویکرد، پژوهش را از مطالعاتی که صرفاً به شناسایی چالش‌ها یا مقایسه‌های توصیفی پرداخته‌اند متمایز می‌کند و آن را مستقیم در خدمت تصمیم‌سازی مدیریت شهری قرار می‌دهد.

هدف اصلی پژوهش حاضر، تحلیل راهبردی بازچرخانی و استفادهٔ مجدد از آب در شهر تهران با بهره‌گیری از مدل‌های SWOTو QSPM در چارچوب حکمرانی پایدار شهری است. این پژوهش با بررسی قوت‌ها، ضعف‌ها، فرصت‌ها و تهدیدهای موجود در نظام سیاستی و اجرایی شهرداری تهران، در پی ارائهٔ راهبردهای سیاستی و مدیریتی برای توسعهٔ بازچرخانی شهری است. اهمیت این پژوهش از چند منظر برجسته است:

- تهران با محدودیت شدید منابع آبی و رشد فزایندهٔ تقاضا روبه‌روست، و بازچرخانی می‌تواند راه‌حلی اقتصادی، زیست‌محیطی و پایدار برای مدیریت این بحران باشد؛
- شهرداری تهران با در اختیار داشتن زیرساخت‌های سبز، شبکه‌های محلی و ظرفیت نهادی گسترده، قادر است به محور اجرایی سیاست‌های بازچرخانی بدل شود؛
- ترکیب مدل‌های SWOT و QSPM در این مطالعه، امکان اولویت‌بندی راهبردهای اجرایی و طراحی نقشهٔ سیاستی کارآمد را فراهم می‌سازد.

نوآوری اصلی این پژوهش در آن است که بازچرخانی آب را نه فقط از منظر فنی یا محیط زیستی، بلکه در قالب یک مسئلهٔ حکمرانی شهری و سیاست‌گذاری چندسطحی تحلیل می‌کند؛ رویکردی که در ادبیات ایران و حتی بسیاری از مطالعات بین‌المللی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این پژوهش با تمرکز بر نقش شهرداری تهران به عنوان بازیگری که تا کنون در مطالعات بازچرخانی کمتر دیده شده، ابعاد نهادی، بین‌سازمانی و مدیریتی این سیاست را بررسی می‌کند و نشان می‌دهد موفقیت بازچرخانی آب به نوع تعامل و هماهنگی میان شهرداری، شرکت آب و فاضلاب و نهادهای نظارتی وابسته است. افزون بر این، استفاده از مدل تلفیقی SWOT–QSPM نوآوری دیگری است که پژوهش را از سطح توصیف چالش‌ها فراتر می‌برد و یافته‌های کیفی را به راهبردهای اولویت‌دار و قابل اجرا برای مدیریت شهری تبدیل می‌کند. در حالی که اغلب مطالعات پیشین تنها به شناسایی مشکلات بازچرخانی بسنده کرده‌اند، این پژوهش با بهره‌گیری از QSPM، راهبردها را بر مبنای جذابیت و امکان‌پذیری کمی‌سازی و رتبه‌بندی می‌کند و به این‌ترتیب شکاف میان تحلیل نظری و تصمیم‌سازی سیاستی را پر می‌سازد. در مجموع، نوآوری پژوهش در ترکیب سه عنصر است:

۱. بازتعریف بازچرخانی آب به عنوان یک مسئلهٔ حکمرانی شهری؛

۲. تحلیل نقش و جایگاه شهرداری تهران در این حوزه؛

۳. تولید راهبردهای عملیاتی مبتنی بر تحلیل کمی اولویت‌ها.

این سه محور در کنار هم، جایگاهی متمایز برای پژوهش ایجاد می‌کنند و آن را از مطالعات پیشین که بیشتر فنی، پراکنده، یا فاقد چارچوب راهبردی بوده‌اند، متفاوت می‌سازند.

در ساختار مقاله، ابتدا مفاهیم نظری بازچرخانی آب شهری و حکمرانی پایدار مرور می‌شود. سپس، روش‌شناسی پژوهش شامل تحلیل اسنادی و مصاحبه با خبرگان شهری توضیح داده می‌شود. در ادامه، نتایج تحلیل SWOT و QSPM ارائه می‌شود و در پایان، راهبردهای سیاستی برای ارتقای حکمرانی بازچرخانی آب در شهر تهران پیشنهاد خواهد شد.

۲. مواد و روش‌ها

در ادبیات معاصر مدیریت آب، حکمرانی پایدار به مجموعه‌ای از سازوکارهای سیاست‌گذاری و تنظیم‌گری گفته می‌شود که با ادغام ابعاد محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی، به دنبال ارتقای تاب‌آوری و استفادهٔ مسئولانه از منابع آب است [۱۶]. یکی از الزامات این رویکرد، شکل‌گیری حکمرانی چندسطحی است؛ سازوکاری که در آن هماهنگی و تعامل میان سطوح ملی، استانی و شهری، امکان تصمیم‌گیری یکپارچه و کارآمد در حوزه‌هایی مانند بازچرخانی آب را فراهم می‌سازد [۱۶ ـ ۱۸]. با توجه به ماهیت پیچیده و چندبعدی سیاست‌های بازچرخانی آب که هم عوامل نهادی و اجتماعی را در بر می‌گیرد و هم به ظرفیت‌های فنی و اقتصادی وابسته است، تحلیل این سیاست‌ها به رویکردی نیاز دارد که بتواند به صورت ساختارمند قوت‌ها، ضعف‌ها، فرصت‌ها و تهدیدها را شناسایی و اولویت‌بندی کند.

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت و روش، توصیفی - تحلیلی است. هدف اصلی آن، شناسایی و تحلیل قوت‌ها، ضعف‌ها، فرصت‌ها و تهدیدهای سیاست‌های بازچرخانی و استفادهٔ مجدد از آب در ایران با رویکرد حکمرانی پایدار است. برای تحلیل داده‌ها از مدل SWOT-QSPM[1] استفاده شده است. این روش نوعی روش ترکیبی است که به تحلیل و شناسایی قوت‌ها، ضعف‌ها، فرصت‌ها و تهدیدها کمک می‌کند و برای اولویت‌بندی راهبردها و تصمیم‌گیری‌های راهبردی استفاده می‌شود. کاربرد مدل تلفیقی SWOT–QSPM در این پژوهش از آن جهت اهمیت دارد که امکان می‌دهد مسئلهٔ بازچرخانی آب، که تحت تأثیر عوامل نهادی، فنی، اقتصادی و اجتماعی قرار دارد، به صورت یک چارچوب راهبردی منسجم تحلیل شود. SWOT زمینهٔ شناسایی و سازمان‌دهی عوامل مؤثر را فراهم کرد و QSPM این یافته‌ها را به اولویت‌های سیاستی قابل اجرا برای مدیریت شهری تبدیل کرد. تفاوت اصلی مدل‌های SWOT–QSPM با مدل‌های مرسوم حوزهٔ آب در آن است که این مدل‌ها علاوه بر ارزیابی‌های فنی و اقتصادی، ابعاد نهادی، حکمرانی، تعامل سازمانی و عوامل اجتماعی را نیز وارد تحلیل می‌کنند.

استفاده از روش SWOT-QSPM در تحلیل راهبردها دارای مزایای متعددی است که می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های مؤثر و کارآمد در حوزه‌های مختلف، به‌ویژه حوزهٔ حکمرانی منابع آب، کمک کند. این روش به طور جامع از هر دو جنبهٔ کیفی و کمی برای ارزیابی و انتخاب راهبردها بهره می‌برد و این ویژگی آن را به ابزاری مفید برای تحلیل‌های پیچیده تبدیل می‌کند. بنابراین مزیت مهم این روش، جامع بودن آن است؛ زیرا در این تحلیل نه‌تنها عواملی که به صورت کیفی ارزیابی می‌شوند، بلکه جنبه‌های کمی نیز در نظر گرفته می‌شوند که به تحلیل دقیق‌تر و کاربردی‌تر کمک می‌کند. یکی دیگر از مزایای برجستهٔ این روش، تمرکز بر اولویت‌بندی راهبردها است. برای این‌منظور، از ماتریس برنامه‌ریزی استراتژیک کمی (QSPM) استفاده شد. QSPM روشی کمی برای مقایسهٔ راهبردها براساس عوامل داخلی و خارجی شناسایی‌شده در ماتریس SWOT است و کمک می‌کند تا جذابیت نسبی هر راهبرد به صورت نظام‌مند ارزیابی شود. در این روش، ابتدا وزن هر یک از عوامل تعیین می‌شود و سپس میزان سازگاری یا پاسخ‌دهی هر راهبرد به آن عامل از طریق اختصاص «امتیاز جذابیت» در یک مقیاس مشخص سنجیده می‌شود. در ادامه، با ترکیب وزن عامل و امتیاز جذابیت، نمرهٔ نهایی هر راهبرد محاسبه می‌شود و راهبردهایی که مجموع نمرات بالاتری کسب کنند به عنوان گزینه‌های اولویت‌دار انتخاب می‌شوند. به این‌ترتیب، QSPM امکان تصمیم‌گیری شفاف، هدایت‌شده و مبتنی بر شواهد را در شرایطی فراهم می‌کند که تحلیل گزینه‌های استراتژیک پیچیده و چندبعدی است. در این پژوهش نیز اولویت راهبردهای مرتبط با بازچرخانی آب در تهران بر اساس نتایج این ماتریس تعیین شده است. از دیگر ویژگی‌های مهم این روش، مناسب بودن برای خط‌مشی‌گذاری و حکمرانی است. دلیل این امر آن است که QSPM امکان می‌دهد تصمیم‌گیرندگان در سطوح مختلف حکمرانی اعم از ملی، شهری یا سازمانی راهبردهای گوناگون را بر اساس وزن عوامل

1. SWOT with Quantitative Strategic Planning Matrix

محیطی و نهادی مقایسه کنند و به صورت عینی تشخیص دهند کدام راهبرد بیشترین اثربخشی را در مواجهه با چالش‌ها دارد. در حوزهٔ حکمرانی آب، که مسائل پیچیده‌ای همچون تعارض منافع، محدودیت منابع مالی، ضعف هماهنگی نهادی و فشارهای اقلیمی مطرح است، QSPM کمک می‌کند گزینه‌های سیاستی نه فقط براساس قضاوت‌های شهودی، بلکه بر مبنای تحلیل ساختارمند و شفاف انتخاب شوند. به این‌ترتیب، مدل تلفیقی به پژوهش کمک کرد تا از سطح تحلیل توصیفی فراتر رود و راهبردهایی مبتنی بر شواهد برای بهبود حکمرانی بازچرخانی آب در تهران ارائه دهد. به این‌ترتیب، این روش ابزار مفیدی برای خط‌مشی‌گذاری تطبیقی، ارزیابی سیاست‌های جایگزین و اولویت‌بندی برنامه‌های اجرایی در حوزهٔ بازچرخانی و استفادهٔ مجدد از آب به شمار می‌رود. این روش به‌ویژه برای تحلیل و ارزیابی سیاست‌های مختلف حکمرانی منابع آب و مدل‌های مشارکتی و سازگار بسیار کارآمد است. همچنین، در بخش روش SWOT به طور خاص برای ارزیابی وضعیت سیاست‌ها و نظام‌های حکمرانی به کار می‌رود و به پژوهشگر کمک می‌کند تا عوامل داخلی (قوت‌ها و ضعف‌ها) و عوامل خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها) را به صورت نظام‌مند شناسایی کرده و راهبردهای مناسب را استخراج کند [۱۹ و ۲۰].

در این پژوهش، ابتدا با استفاده از مطالعهٔ اسنادی و مرور سیاست‌ها، اسناد بالادستی و مجموعه‌ای از گزارش‌های رسمی مرتبط با حوزهٔ آب و فاضلاب مورد بررسی قرار گرفت. این اسناد شامل گزارش‌های سالانهٔ وضعیت آب و فاضلاب تهران و گزارش طرح جامع فاضلاب شهر تهران منتشرشده توسط شرکت آب و فاضلاب استان تهران، گزارش‌های عملکرد و برنامهٔ توسعهٔ تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری و اطلس منابع و مصارف پساب کشور از سوی وزارت نیرو و گزارش‌های پایش کیفیت پساب تصفیه‌خانه‌های جنوب، اکباتان، شهرک قدس و سرخه‌حصار منتشرشده توسط سازمان حفاظت محیط زیست است. همچنین، گزارش برنامهٔ پنج‌سالهٔ سوم و چهارم شهرداری تهران در بخش محیط زیست و مدیریت منابع آب، گزارش‌های سازمان بوستان‌ها دربارهٔ استفاده از پساب در آبیاری فضای سبز و اسنادی مانند سند ملی آب کشور و تحلیل‌های مرکز پژوهش‌های مجلس دربارهٔ وضعیت مدیریت پساب، به عنوان منابع ثانویه سیاستی مورد استفاده قرار گرفتند. افزون بر این، مجموعه‌ای از مقالات علمی و مطالعات تخصصی داخلی و بین‌المللی نیز برای تکمیل چارچوب نظری و تحلیلی پژوهش به کار گرفته شد. در مرحلهٔ مرور ادبیات، در مجموع ۵۵ عنوان منبع شامل ۳۲ مقالهٔ علمی ـ پژوهشی داخلی و بین‌المللی، ۹ گزارش تخصصی و فنی در حوزهٔ آب و فاضلاب و ۱۴ سند سیاستی و برنامه‌ای مرتبط با حکمرانی آب و بازچرخانی مورد بررسی قرار گرفت. جامعهٔ آماری این پژوهش شامل خبرگان و کارشناسانی بوده است که به طور مستقیم در حوزهٔ سیاست‌گذاری و مدیریت بازچرخانی آب فعالیت داشته‌اند. معیارهای انتخاب افراد شامل داشتن حداقل پنج سال سابقهٔ اجرایی یا پژوهشی در حوزهٔ آب و فاضلاب، مشارکت در تدوین یا اجرای سیاست‌های مرتبط با بازچرخانی، آشنایی تخصصی با ساختار حکمرانی آب شهری، و اشتغال در نهادهای مرتبط بوده است. بر این‌اساس، جامعهٔ خبرگی شامل مدیران و کارشناسان شرکت آب و فاضلاب استان تهران، مدیران حوزهٔ محیط زیست و سازمان بوستان‌ها در شهرداری تهران، کارشناسان سازمان حفاظت محیط زیست و اعضای هیئت علمی یا پژوهشگران فعال در زمینهٔ حکمرانی و بازچرخانی آب بوده است. نمونه‌گیری به صورت هدفمند انجام شد و فرایند مصاحبه تا زمان رسیدن به حد اشباع نظری ادامه یافت؛ به طوری که پس از مصاحبه با ۱۸ نفر هیچ مفهوم جدیدی نسبت به مصاحبه‌های قبل استخراج نشد و روند جمع‌آوری داده‌ها متوقف شد. ابزار اصلی گردآوری داده در این پژوهش، مصاحبهٔ نیمه‌ساختاریافته و چک‌لیست SWOTبوده است. چک‌لیست شامل چهار محور اصلی (قوت، ضعف، فرصت، تهدید) است. سپس از طریق تحلیل خبرگان[1] و مصاحبهٔ نیمه‌ساختاریافته با متخصصان، داده‌های کیفی جمع‌آوری شد. داده‌ها در چارچوب مدل SWOT طبقه‌بندی و با استفاده از روش مقایسه‌ای و امتیازدهی وزنی[2] اهمیت هر عامل ارزیابی شده و سپس برای تدوین راهبردها از ماتریس تطبیقی SWOT استفاده شد تا راهبردهای چهارگانه استخراج شود.

راهبردهای SO (قوت - فرصت) با هدف بهره‌گیری حداکثری از مزیت‌های موجود و تقویت سیاست‌های موفق طراحی شدند؛ راهبردهایWO (ضعف - فرصت) بر بهبود ظرفیت‌های داخلی از طریق استفاده از فرصت‌های محیطی متمرکزند؛ راهبردهای

1. Expert Analysis
2. Weighted Scoring

ST (قوت - تهدید) به‌کارگیری قوت‌ها برای کاهش و کنترل ریسک‌ها و تهدیدهای خارجی را دنبال می‌کنند؛ و در نهایت، راهبردهای WT (ضعف - تهدید) بر کاهش آسیب‌پذیری‌ها و افزایش تاب‌آوری سیاست‌های بازچرخانی آب در برابر چالش‌های نهادی و محیطی تأکید دارند.

همان‌طور که اشاره شد؛ QSPM یک ماتریس کمّی برای اولویت‌بندی راهبردهاست که پس از تحلیل SWOT به کار می‌رود. این روش ابتدا وزن عوامل کلیدی داخلی و خارجی را تعیین می‌کند، سپس برای هر راهبرد امتیاز جذابیت در مواجهه با آن عوامل محاسبه می‌شود. حاصل ضرب وزن و امتیاز، ارزش واقعی و اولویت هر راهبرد را مشخص می‌کند. بنابراین QSPM تحلیل کیفی SWOT را به تصمیم‌گیری کمّی و قابل دفاع تبدیل می‌کند و کمک می‌کند بهترین و اجرایی‌ترین راهبرد انتخاب شود. مبنای محاسبهٔ QSPM بر اساس «امتیاز جذابیت کل» یا TAS است که از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\mathrm{TAS}_{ij} = W_i \times AS_{ij}$$

که در آن:

W_i = وزن عامل i یا اهمیت نسبی هر عامل داخلی یا خارجی

AS_{ij} = امتیاز جذابیت راهبرد j نسبت به عامل i

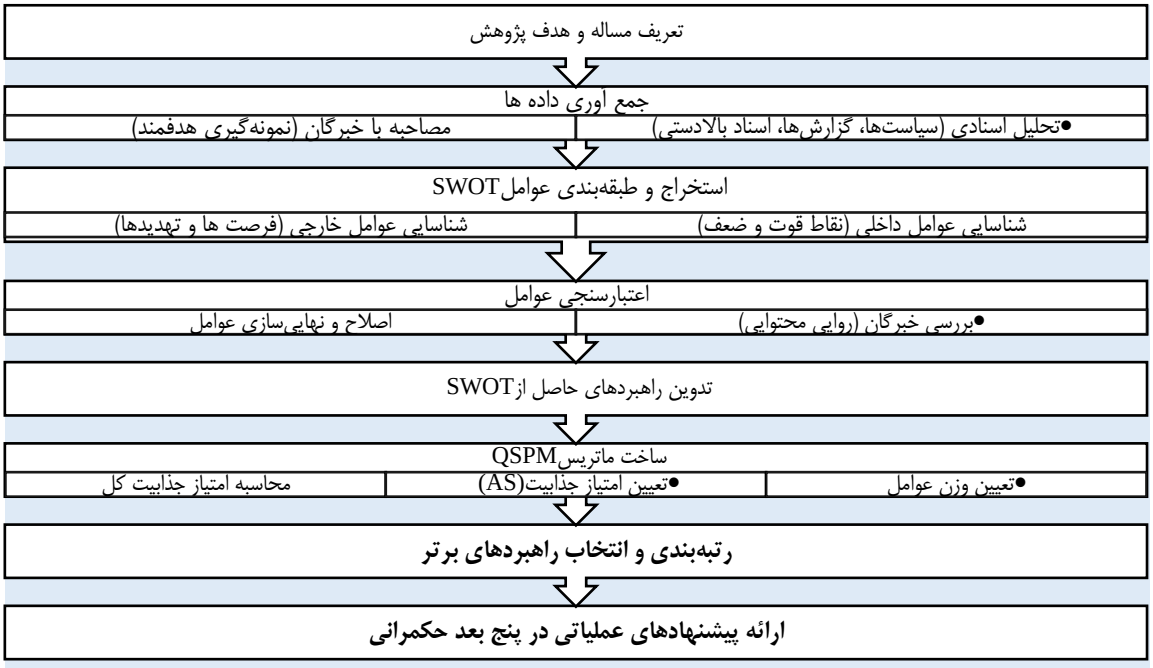
TAS_{ij} = امتیاز جذابیت کل راهبرد j در قبال عامل i

و امتیاز نهایی هر راهبرد از مجموع TAS ها به دست می‌آید:

$$\text{Total Score}_j = \sum_{i=1}^{n} TAS_{ij}$$

راهبردی که بیشترین امتیاز کل را دارد، به عنوان اولویت برتر انتخاب می‌شود.

در شکل ۱ مراحل انجام پژوهش ارائه شده است.



شکل ۱. مراحل انجام پژوهش

۳. نتایج

در این بخش، یافته‌های پژوهش در دو قسمت یافته‌های توصیفی و یافته‌های تحلیلی ارائه می‌شود تا تصویری جامع و روشن از وضعیت موجود و تحلیل سیاست‌های بازچرخانی و استفادهٔ مجدد از آب به دست آید. پیش از بیان یافته‌ها درخور یادآوری است که به منظور سنجش اعتبار (روایی) و اطمینان از پایایی داده‌ها، مجموعه‌ای از اقدامات منسجم در مراحل گردآوری و تحلیل

داده‌ها انجام شد. ابتدا برای تقویت روایی محتوایی، عوامل استخراج‌شده در ماتریس SWOT و نیز شاخص‌های به‌کاررفته در QSPMبه صورت اولیه تنظیم شده و برای ارزیابی به چهار نفر از خبرگان حوزهٔ حکمرانی آب و مدیریت شهری ارائه شد. نظرهای اصلاحی آنان در خصوص طبقه‌بندی عوامل، نحوهٔ نگارش گزاره‌ها و میزان شمول هر عامل اعمال شد تا اطمینان حاصل شود که عوامل منتخب به طور واقعی بیانگر وضعیت بازچرخانی آب در تهران هستند. علاوه بر این، برای افزایش روایی سازه، یافته‌های حاصل از تحلیل اسنادی با داده‌های به‌دست‌آمده از مصاحبه‌های تخصصی مقایسه و از روش مثلث‌سازی استفاده شد تا مطابقت میان داده‌های منابع مختلف بررسی شود. در زمینهٔ پایایی، چند اقدام تکمیلی انجام شد. نخست، کدگذاری و طبقه‌بندی عوامل توسط دو پژوهشگر به صورت مستقل صورت گرفت و میزان توافق میان آن‌ها ارزیابی شد تا از ثبات در فرایند تحلیل اطمینان حاصل شود. دوم، ماتریس QSPM و وزن‌دهی عوامل توسط سه نفر از خبرگان سیاست‌گذاری آب بازبینی شد تا از یکسانی برداشت‌ها و ثبات امتیازدهی‌ها اطمینان حاصل شود. همچنین برای کنترل پایایی فرایند امتیازدهی، میانگین امتیازات خبرگان محاسبه و موارد دارای اختلاف زیاد مورد بازنگری قرار گرفت. در نهایت، یافته‌ها در قالب یک جلسهٔ بازخورد با گروهی از مشارکت‌کنندگان مطرح شد و آن‌ها صحت و همخوانی نتایج با تجربیات میدانی خود را تأیید کردند. مجموعه این اقدامات باعث شد روایی و پایایی داده‌ها و تحلیل‌ها در پژوهش حاضر تضمین شده و نتایج آن قابل اتکا باشد.

۳-۱. یافته‌های توصیفی

بر اساس داده‌های جمع‌آوری‌شده از اسناد ملی آب، مصاحبه‌های تخصصی و مطالعات پیشین، مشخص شد که در دههٔ اخیر گام‌هایی در جهت توسعهٔ بازچرخانی آب برداشته و در حال گذار از مرحلهٔ سیاست‌گذاری به مرحلهٔ اجرا است. احداث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری و صنعتی، توسعهٔ طرح‌های استفاده از پساب در کشاورزی و فضای سبز، و اجرای محدود پروژه‌های تغذیهٔ مصنوعی از جمله اقدامات انجام‌شده بوده است. با این‌حال، این سیاست‌ها هنوز به صورت جزیره‌ای، بدون هماهنگی نهادی، نبود سیاست‌های تشویقی اقتصادی پایدار و با ضعف در نظارت و ارزیابی اجرا می‌شوند که از مهم‌ترین موانع توسعهٔ این رویکرد به شمار می‌رود. از دیدگاه توصیفی، وضعیت فعلی نشان می‌دهد حدود ۳۰ درصد از فاضلاب تصفیه‌شده کشور پتانسیل استفادهٔ مجدد دارد، اما کمتر از نیمی از آن در عمل مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. در کنار این، ضعف آگاهی عمومی، نگرش منفی نسبت به آب بازیافتی و نبود مشوق‌های اقتصادی، موجب شده‌اند که سیاست بازچرخانی در مرحلهٔ سیاست‌گذاری باقی بماند و به برنامه‌های اجرایی فراگیر تبدیل نشود.

۳-۲. یافته‌های تحلیلی

برای تحلیل عمیق‌تر وضعیت حکمرانی بازچرخانی آب و ارزیابی جامع وضعیت سیاست‌های بازچرخانی، از ماتریسSWOT استفاده شد تا عوامل داخلی (قوت‌ها و ضعف‌ها) و عوامل خارجی (فرصت‌ها و تهدیدها) شناسایی و اولویت‌بندی شوند. در گام نخست گزاره‌هایی که استخراج شده بودند، برای امتیازدهی به پنل خبرگانی که به صورت عملیاتی یا علمی در این زمینه فعالیت دارند، ارسال شد. از داده‌های حاصل از این موارد کارشناسی‌شده ضریب اهمیت ماتریس SWOT به دست آمد. سپس، با توجه به معیارهای رتبه‌دهی در جدول ۱، هر یک از گزاره‌ها رتبه‌بندی شدند.

جدول ۱. معیارهای رتبه در عوامل داخلی و خارجی

معیار رتبه‌دهی در عوامل خارجی	امتیاز	معیار رتبه‌دهی در عوامل داخلی	امتیاز
فرصت قابل اعتنا (واکنش بسیار عالی)	۴	قوت بسیار عالی	۴
فرصت قابل اعتنا (واکنش خوب)	۳	قوت خوب	۳
تهدید قابل اعتنا (واکنش بد و منفی)	۲	ضعف خفیف	۲
تهدید جدی (واکنش خیلی بد)	۱	ضعف خیلی شدید	۱

در نهایت با استفاده از حاصل‌ضرب رتبه‌ها در ضریب اهمیت، نمره هر گزاره استخراج شد. نتایج حاصل مراحل گام اول در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. در میان عوامل داخلی، وجود تصفیه‌خانه‌های مجهز و ظرفیت فنی دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی به عنوان مهم‌ترین قوت شناسایی شد. همچنین، دانش تخصصی و تجربیات علمی و عملی در زمینهٔ تصفیه و

بازچرخانی آب، از دیگر توانمندی‌های کشور است. در مقابل، ضعف ساختار نهادی و تعدد سازمان‌های تصمیم‌گیر، کمبود زیرساخت‌های توزیع آب بازچرخانی، نبود استانداردهای روشن برای کیفیت و کاربرد آب بازچرخانی و فقدان سیاست‌های مالی حمایتی پایدار، از جمله مهم‌ترین ضعف‌ها محسوب می‌شوند. در سطح خارجی، فرصت‌های قابل توجهی مانند افزایش نیاز به منابع جایگزین آب در شرایط خشکسالی، پیشرفت فناوری‌های تصفیه نوین، و امکان بهره‌گیری از تجارب بین‌المللی در مدیریت پساب مشاهده شد. اما تهدیدهایی همچون تغییرات اقلیمی، کاهش منابع آب تجدیدپذیر، ضعف نظارت بر کیفیت پساب‌ها و مقاومت اجتماعی در برابر استفاده از آب بازچرخانی و تغییر الگوی مصرف، روند توسعهٔ این سیاست‌ها را با چالش مواجه می‌سازد.

جدول ۲. ماتریس ارزیابی عوامل داخلی

ردیف	عوامل	ضریب اهمیت	رتبه	نمره
	قوت			
S۱	وجود زیرساخت‌های فنی و تصفیه‌خانه‌های مجهز	۰/۱۱۹۶	۳	۰/۳۵۸۹
S۲	دانش فنی و ظرفیت علمی و پژوهشی دانشگاه‌ها	۰/۱۱۰۰	۴	۰/۴۴۰۲
S۳	تجربه‌های موفق محدود در بازچرخانی شهری و پروژه‌های تصفیه‌خانه‌ای	۰/۱۱۰۰	۳	۰/۳۳۰۱
S۴	نیرو ی‌انسانی متخصص در حوزهٔ آب و فاضلاب	۰/۱۱۴۸	۴	۰/۴۵۹۳
S۵	حضور شرکت‌های دانش‌بنیان فعال در فناوری آب	۰/۱۱۰۰	۴	۰/۴۴۰۲
	ضعف			
W۱	ناهماهنگی نهادی و تعدد مراکز تصمیم‌گیر	۰/۱۳۴۰	۱	۰/۱۳۴۰
W۲	کمبود منابع مالی پایدار و مشوق‌های اقتصادی	۰/۱۱۴۸	۲	۰/۲۲۹۷
W۳	پذیرش اجتماعی پایین و آگاهی محدود نسبت به آب بازیافتی	۰/۰۷۱۸	۱	۰/۰۷۱۸
W۴	نبود چارچوب حقوقی و استانداردهای مشخص	۰/۱۱۴۸	۲	۰/۲۲۹۷

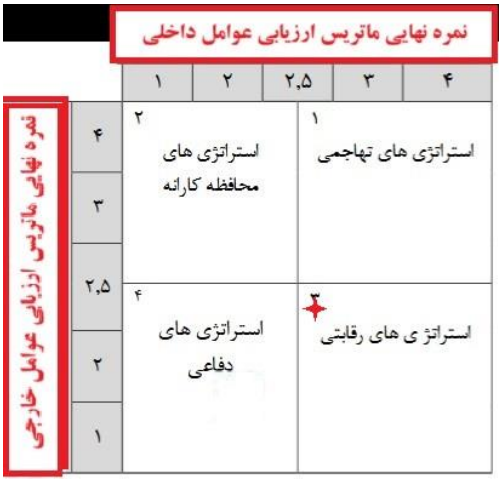
جدول ۳. ماتریس ارزیابی عوامل خارجی

ردیف	عوامل	ضریب اهمیت	رتبه	نمره
	فرصت‌ها			
O۱	افزایش کم‌آبی و نیاز به منابع جایگزین	۰/۱۴۱۴	۴	۰/۵۶۵۴
O۲	پیشرفت فناوری‌های نوین تصفیه و بازیافت	۰/۱۲۰۴	۳	۰/۳۶۱۳
O۳	فرصت همکاری‌های علمی و فنی در سطح بین‌المللی	۰/۱۳۶۱	۴	۰/۵۴۴۵
O۴	گرایش جهانی به استفاده از آب‌های بازچرخانی (اقتصاد چرخشی آب)	۰/۱۱۵۲	۳	۰/۳۴۵۵
	تهدیدها			
T۱	تغییرات اقلیمی و کاهش منابع تجدیدپذیر	۰/۱۴۱۴	۱	۰/۱۴۱۴
T۲	ضعف در نظارت و کنترل کیفیت پساب‌ها	۰/۱۳۰۹	۱	۰/۱۳۰۹
T۳	مقاومت اجتماعی و نهادی در برابر تغییر و اصلاح سیاستی	۰/۰۷۸۵	۲	۰/۱۵۷۱
T۴	نوسانات سیاسی و تغییر اولویت‌های دولت‌ها	۰/۱۳۶۱	۱	۰/۱۳۶۱

در گام دوم، مجموع عوامل خارجی و مجموع عوامل داخلی به منظور انتخاب راهبرد در زمینهٔ سیاست‌های بازچرخانی تبیین شده است. با توجه به داده‌های جدول ۴ و شکل ۲ راهبرد غالب در ماتریس حاصل از این پژوهش در نواحی راهبرد رقابتی (ST) قرار دارد. این راهبرد تعیین می‌کند که با توجه به قوت استفاده از بازچرخانی، می‌توان از تهدیدها جلوگیری کرد. این راهبرد تلاش می‌کند با تقویت نوآوری، انسجام نهادی و شفافیت سیاستی، تهدیدهای بیرونی را به فرصت تبدیل کند و زمینهٔ تحقق حکمرانی پایدار آب را فراهم سازد.

جدول ٤. ماتریس داخلی/خارجی

مجموع عوامل داخلی (S+W)	۲/۷
مجموع عوامل خارجی (T+O)	۲/۴



شکل ۲. راهبرد ماتریس SWOT

در گام سوم تمام راهبردهای موجود در زمینهٔ بهبود سیاست‌های بازچرخانی با استفاده از فرصت‌ها، تهدیدها، ضعف‌ها و قوت‌ها در جدول ۵ تبیین شد.

جدول ۵. تعیین راهبردهای تهاجمی، محافظه‌کارانه، رقابتی و دفاعی

راهبرد های تهاجمی (SO)	راهبرد های محافظه‌کارانه (WO)
• توسعهٔ پروژه‌های ملی بازچرخانی با تکیه بر ظرفیت دانشگاهی و مهندسی داخلی، • ایجاد شبکهٔ ملی بازچرخانی آب با مشارکت دستگاه‌های دولتی و خصوصی، • صدور دانش فنی به کشورهای منطقه (دی‌پ‌لماسی آب)، • توسعهٔ اقتصاد چرخشی آب در صنایع بزرگ، • استفاده از ظرفیت پژوهشی برای جذب پروژه‌های بین‌المللی.	• افزایش تاب‌آوری شهری در برابر تغییرات اقلیمی، • ایجاد سامانهٔ ملی پایش کیفیت آب بازچرخانی و استانداردسازی ملی، • یکپارچه‌سازی سیاست‌های آب و فاضلاب در قالب نهاد تنظیم‌گر، • توسعهٔ فناوری‌های هوشمند مدیریت پساب، • استفاده از توان داخلی برای کاهش وابستگی به فناوری‌های خارجی، • تدوین پروتکل‌های واکنش سریع در برابر بحران‌های زیست‌محیطی.
راهبردهای رقابتی (ST)	**راهبردهای دفاعی (WT)**
• جذب منابع مالی بین‌المللی برای پروژه‌های بازچرخانی مثل UNDP و FAO، • تدوین سیاست‌های تشویقی اقتصادی و مالیاتی برای کشاورزی و صنایع، • اجرای برنامه‌های آموزش و فرهنگ‌سازی عمومی در سطوح مختلف جامعه، • تدوین استانداردهای ملی کیفیت بر اساس تجارب بین‌المللی مثل استرالیا و اسپانیا، • همکاری و مشارکت با بخش خصوصی برای ارتقای بهره‌وری تصفیه‌خانه‌ها.	• اصلاح ساختار نهادی حکمرانی آب، تجمیع وظایف پراکنده و ایجاد شورای حکمرانی بازچرخانی آب، • ایجاد صندوق پایدار مالی برای حمایت از پروژه‌ها، • پایش مستمر و بازنگری مداوم سیاست‌ها با رویکرد تطبیقی و تجارب جهانی، • تقویت شفافیت و پاسخ‌گویی عمومی در پروژه‌های بازچرخانی، • کاهش وابستگی بودجه‌ای و افزایش تاب‌آوری مالی بخش آب.

نتایج تحلیل راهبردها نشان می‌دهد توسعهٔ سیاست‌های بازچرخانی آب نیازمند رویکردی ترکیبی از نوآوری فنی، اصلاح نهادی و سیاست‌گذاری مشارکتی است. بهره‌گیری از ظرفیت‌های علمی داخلی، هم‌افزایی میان نهادها و نهادینه‌سازی فرهنگ بازچرخانی در جامعه، سه محور اصلی موفقیت حکمرانی پایدار آب به شمار می‌آیند. در این چارچوب، مدل SWOT ابزاری کارآمد برای شناسایی مسیرهای اصلاحی و تصمیم‌سازی در سطوح مختلف حکمرانی آب است.

سپس با توجه به خروجی‌های به‌دست‌آمده در مراحل قبل و انتخاب راهبردهای رقابتی به عنوان راهبرد غالب و مؤثر، این راهبردها براساس روش QSPM رتبه‌بندی شدند. مراحل این تحلیل در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ٦. QSPM

قوت		ST۱		ST۲		ST۳		ST٤		ST٥	
عوامل اصلی	ضریب (وزن نرمال‌شده)	نمرهٔ جذابیت	ضریب نمره	نمرهٔ جذابیت	ضریب نمره	نمرهٔ جذابیت	ضریب نمره	نمرهٔ جذابیت	ضریب نمره	نمرهٔ جذابیت	ضریب نمره
S۱	۰/۱۲	۳	۰/۳۶	۲	۰/۲۴	۳	۰/۳۶	۳	۰/۳۶	۴	۰/۴۸
S۲	۰/۱۱	۳	۰/۳۳	۳	۰/۳۳	۳	۰/۳۳	۴	۰/۴۴	۳	۰/۳۳
S۳	۰/۱۱	۲	۰/۲۲	۲	۰/۲۲	۲	۰/۲۲	۳	۰/۳۳	۴	۰/۴۴
S۴	۰/۱۱	۳	۰/۳۴	۳	۰/۳۴	۲	۰/۲۳	۳	۰/۳۴	۴	۰/۴۶
S۵	۰/۱۱	۳	۰/۳۳	۲	۰/۲۲	۴	۰/۴۴	۳	۰/۳۳	۴	۰/۴۴
جمع قوت ها	۰/۵۶	۱۴	۱/۵۸	۱۲	۱/۳۵	۱۴	۱/۵۸	۱۶	۱/۸۰	۱۹	۲/۱۵
ضعف		**ST۱**		**ST۲**		**ST۳**		**ST٤**		**ST٥**	
عوامل اصلی	ضریب (وزن نرمال‌شده)	نمرهٔ جذابیت	ضریب نمره	نمرهٔ جذابیت	ضریب نمره	نمرهٔ جذابیت	ضریب نمره	نمرهٔ جذابیت	ضریب نمره	نمرهٔ جذابیت	ضریب نمره
W۱	۰/۱۳	۳	۰/۴۰	۳	۰/۴۰	۲	۰/۲۷	۴	۰/۵۴	۳	۰/۴۰
W۲	۰/۱۱	۴	۰/۴۶	۴	۰/۴۶	۲	۰/۲۳	۳	۰/۳۴	۳	۰/۳۴
W۳	۰/۰۷	۲	۰/۱۴	۲	۰/۱۴	۴	۰/۲۹	۲	۰/۱۴	۲	۰/۱۴
W۴	۰/۱۱	۳	۰/۳۴	۳	۰/۳۴	۲	۰/۲۳	۴	۰/۴۶	۳	۰/۳۴
جمع ضعف ها	۰/۴۴	۱۲	۱/۳۵	۱۲	۱/۳۵	۱۰	۱/۰۱	۱۳	۱/۴۸	۱۱	۱/۲۳
فرصت		**ST۱**		**ST۲**		**ST۳**		**ST٤**		**ST٥**	
عوامل اصلی	ضریب (وزن نرمال‌شده)	نمرهٔ جذابیت	ضریب نمره	نمرهٔ جذابیت	ضریب نمره	نمرهٔ جذابیت	ضریب نمره	نمرهٔ جذابیت	ضریب نمره	نمرهٔ جذابیت	ضریب نمره
O۱	۰/۱۴	۴	۰/۵۷	۳	۰/۴۲	۳	۰/۴۲	۳	۰/۴۲	۳	۰/۴۲
O۲	۰/۱۲	۳	۰/۳۶	۳	۰/۳۶	۲	۰/۲۴	۳	۰/۳۶	۴	۰/۴۸
O۳	۰/۱۴	۴	۰/۵۴	۳	۰/۴۱	۲	۰/۲۷	۳	۰/۴۱	۳	۰/۴۱
O۴	۰/۱۲	۳	۰/۳۵	۳	۰/۳۵	۳	۰/۳۵	۴	۰/۴۶	۳	۰/۳۵
جمع فرصت ها	۰/۵۱	۱۴	۱/۸۲	۱۲	۱/۵۴	۱۰	۱/۲۸	۱۳	۱/۶۵	۱۳	۱/۶۶
تهدید		**ST۱**		**ST۲**		**ST۳**		**ST٤**		**ST٥**	
عوامل اصلی	ضریب (وزن نرمال شده)	نمرهٔ جذابیت	ضریب نمره	نمرهٔ جذابیت	ضریب نمره	نمرهٔ جذابیت	ضریب نمره	نمرهٔ جذابیت	ضریب نمره	نمرهٔ جذابیت	ضریب نمره
T۱	۰/۱۴	۴	۰/۵۷	۳	۰/۴۲	۳	۰/۴۲	۳	۰/۴۲	۳	۰/۴۲
T۲	۰/۱۳	۳	۰/۳۹	۳	۰/۳۹	۲	۰/۲۶	۴	۰/۵۲	۳	۰/۳۹
T۳	۰/۰۸	۲	۰/۱۶	۲	۰/۱۶	۴	۰/۳۱	۲	۰/۱۶	۲	۰/۱۶
T۴	۰/۱۴	۴	۰/۵۴	۳	۰/۴۱	۳	۰/۴۱	۳	۰/۴۱	۳	۰/۴۱
جمع تهدیدها	۰/۴۹	۱۳	۱/۶۶	۱۱	۱/۳۸	۱۲	۱/۴۱	۱۲	۱/۵۱	۱۱	۱/۳۸
جمع کل		۶/۴۰۹		۵/۶۲۵		۵/۲۸۴		۶/۴۵۵		۶/۴۲۵	
رتبه‌بندی		۳		۴		۵		۱		۲	

۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحلیل SWOT–QSPM نشان داد شهر تهران و به‌ویژه شهرداری تهران از ظرفیت‌های فنی، علمی و زیرساختی قابل توجهی برای توسعهٔ سیاست‌های بازچرخانی و استفادهٔ مجدد از آب برخوردار است؛ با این‌حال، نبود حکمرانی یکپارچهٔ شهری، کمبود سیاست‌های تشویقی اقتصادی، ضعف هماهنگی نهادی و پذیرش اجتماعی پایین همچنان از موانع اصلی تحقق

این سیاست‌ها به شمار می‌رود. در عین حال، تشدید بحران آب، فشارهای اقلیمی و رشد تقاضای شهری می‌تواند به عنوان یک فرصت راهبردی برای اصلاح الگوی حکمرانی آب در سطح مدیریت شهری تلقی شود.

تحلیل QSPM نشان داد در میان راهبردهای پیشنهادی، راهبردهای رقابتی (ST) بالاترین امتیاز جذابیت کل را به دست آوردند. این دسته از راهبردها بر بهره‌گیری از توان فنی، زیرساختی، علمی و ظرفیت بخش خصوصی برای مقابله با تهدیدهایی همچون تغییر اقلیم، کمبود منابع مالی و مقاومت نهادی تمرکز دارند. در بین آن‌ها، مشارکت با بخش خصوصی برای ارتقای بهره‌وری تصفیه‌خانه‌ها» و جذب منابع مالی بین‌المللی برای پروژه‌های بازچرخانی و سایر نهادها بالاترین نمرات جذابیت را کسب کردند. این یافته‌ها بیانگر آن است که شهرداری تهران در مسیر توسعهٔ بازچرخانی آب باید از مدل‌های تأمین مالی ترکیبی، جذب سرمایه‌گذاری خارجی و توانمندسازی شرکت‌های دانش‌بنیان بهره گیرد. از سوی دیگر، راهبردهای تدوین استانداردهای ملی کیفیت آب بازیافتی و سیاست‌های تشویقی اقتصادی برای بخش کشاورزی و صنعت شهری نیز در رتبه‌های بعدی جذابیت قرار گرفتند؛ زیرا می‌توانند زمینه را برای ارتقای اعتماد عمومی، هماهنگی نهادی و توسعهٔ چارچوب‌های حکمرانی پایدار شهری فراهم کنند. در مقابل، راهبرد آموزش و فرهنگ‌سازی عمومی اگرچه در میان نمرات میانی قرار دارد، اما از نظر اثرگذاری بلندمدت بر پذیرش اجتماعی سیاست‌های بازچرخانی، حیاتی تلقی می‌شود.

بررسی تفصیلی ماتریس QSPM نشان داد بهره‌گیری از قوت‌های موجود (زیرساخت‌های تصفیه، دانش فنی، نیروی انسانی متخصص و شرکت‌های دانش‌بنیان) در ترکیب با فرصت‌های خارجی (پیشرفت فناوری‌های نوین و گرایش جهانی به اقتصاد چرخشی)، می‌تواند پایه‌گذار مدل حکمرانی شهری آب مبتنی بر پایداری باشد. در مقابل، تهدیدهایی همچون تغییرات اقلیمی، نوسانات سیاسی و ضعف در نظارت بر کیفیت پساب‌ها همچنان نیازمند پاسخ نهادی پایدار و هماهنگ هستند. بر اساس نتایج پژوهش، مجموعه‌ای از اقدامات کاملاً عملیاتی برای بهبود حکمرانی بازچرخانی آب در تهران پیشنهاد می‌شود که در پنج بعد نهادی، اقتصادی، فناورانه، اجتماعی و بین‌المللی دسته‌بندی می‌شوند:

۱. بعد نهادی

- تشکیل «شورای هماهنگی بازچرخانی آب شهری با عضویت شهرداری تهران، شرکت آب و فاضلاب، سازمان حفاظت محیط زیست و سایر نهادهای مرتبط، به منظور یکپارچه‌سازی تصمیمات و جلوگیری از موازی‌کاری،
- ایجاد یک نهاد تنظیم‌گر شهری بازچرخانی آب در ساختار شهرداری برای تدوین استانداردها، نظارت بر کیفیت، صدور گواهی و ارزیابی عملکرد پروژه‌های بازچرخانی،
- تدوین «نقشهٔ راه حکمرانی پایدار بازچرخانی آب تهران» با مشارکت دانشگاه‌ها، پژوهشگران و بخش خصوصی، جهت تعیین نقش‌ها، زمان‌بندی و اولویت اقدامات.

۲. بعد اقتصادی

- ایجاد صندوق پایداری آب شهری برای تأمین مالی پروژه‌های بازچرخانی و حمایت از سرمایه‌گذاری بخش خصوصی،
- تدوین بسته‌های تشویقی تعرفه‌ای و مالیاتی برای صنایع، پیمانکاران و بهره‌بردارانی که از آب بازیافتی استفاده می‌کنند،
- طراحی بازار گواهی صرفه‌جویی آب با هدف قیمت‌گذاری بر صرفه‌جویی، ارتقای بهره‌وری و ایجاد سازوکارهای مالی شفاف.

۳. بعد فناورانه

- حمایت از ایجاد شتاب‌دهنده‌ها و مراکز نوآوری آب شهری برای توسعهٔ فناوری‌های بومی تصفیه و بازچرخانی،
- بومی‌سازی فناوری‌های کم‌هزینه و سازگار با شرایط تهران برای تصفیه و تحویل آب بازیافتی،
- راه‌اندازی سامانهٔ هوشمند پایش کیفیت و کمیت آب‌های بازچرخانی برای تصمیم‌گیری مبتنی بر داده و افزایش اعتماد عمومی.

۴. بعد اجتماعی و فرهنگی

- اجرای کمپین گستردهٔ آموزش و فرهنگ‌سازی در شهر تهران با مشارکت مدارس، رسانه‌ها و سازمان‌های مردم‌نهاد برای

ارتقای آگاهی عمومی دربارهٔ مزایای بازچرخانی،
- ایجاد و ترویج برند آب بازیافتی ایمن برای افزایش اعتماد مردم و مصرف‌کنندگان به کیفیت پساب تصفیه‌شده،
- برگزاری برنامه‌های محله‌محور برای استفاده از آب بازیافتی در آبیاری فضای سبز و مشارکت شهروندان.

۵. بعد بین‌المللی
- جذب منابع مالی و دانش فنی بین‌المللی از نهادهایی مانندUNDP، UNEP و بانک توسعهٔ آسیایی،
- توسعهٔ همکاری با شهرهای موفق دنیا (نظیر ملبورن، بارسلونا و سنگاپور) برای تبادل تجربه و انتقال فناوری،
- عضویت فعال در شبکه‌های جهانی حکمرانی آب شهری برای بهره‌گیری از استانداردها و الگوهای موفق بین‌المللی.

این مجموعه اقدامات، نقشه‌ای روشن از راهبردهای عملی برای شهرداری تهران ارائه می‌دهد تا با بهره‌گیری از حکمرانی چندسطحی، ظرفیت بازچرخانی آب شهری را توسعه دهد و به سمت مدیریت پایدار منابع آب حرکت کند.

نتایج این پژوهش با ادبیات موجود در حوزهٔ بازچرخانی آب هم‌خوانی قابل توجهی دارد. یافته‌های این مطالعه که ضعف در حکمرانی یکپارچه، کمبود منابع مالی و پذیرش اجتماعی پایین را به عنوان موانع اصلی توسعه بازچرخانی در تهران شناسایی می‌کند، با نتایج السعیدی و دهنوی [۴] همسو است؛ آن‌ها نیز تأکید می‌کنند که نبود سیاست‌های جامع و مشوق‌های اقتصادی از عوامل اصلی ناکامی سیاست‌های بازچرخانی در ایران است. همچنین، نتایج این پژوهش با مطالعهٔ ریچ و همکاران [۱۳] مطابقت دارد که نشان داده‌اند پیشرفت‌های فنی به‌تنهایی کافی نیست و ضعف استانداردها و مقاومت اجتماعی مانع اصلی توسعهٔ پروژه‌های بازچرخانی در بسیاری از کشورهاست. علاوه بر این، یافته‌های ما درخصوص ضرورت تدوین دستورالعمل‌های کیفیت پساب و ارزیابی ریسک، با پژوهش شفیعی نیستانک و روزبهانی [۱۴] هماهنگ است؛ چراکه آن‌ها نیز نبود چارچوب ارزیابی ریسک و استانداردهای ایمنی را از مهم‌ترین چالش‌های حکمرانی بازچرخانی در ایران معرفی می‌کنند. نتایج مربوط به اهمیت سیستم‌های غیرمتمرکز و نقش مشارکت محلی نیز با یافته‌های غفوری و همکاران [۱۵] سازگار است. در مجموع، یافته‌های این مطالعه در امتداد ادبیات موجود قرار می‌گیرد، اما با تمرکز بر سطح حکمرانی شهری و نقش شهرداری‌ها، بُعد نهادی و محلی سیاست‌های بازچرخانی را برجسته می‌کند؛ موضوعی که در بخش عمده‌ای از مطالعات پیشین کمتر مورد توجه بوده است.

در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد اگر بازچرخانی آب در شهر تهران در چارچوب حکمرانی پایدار شهری، مشارکتی و دانش‌بنیان پیاده‌سازی شود، می‌تواند نه‌تنها به کاهش وابستگی به منابع آب سطحی و زیرزمینی منجر شود، بلکه موجب افزایش بهره‌وری، ارتقای تاب‌آوری اقلیمی و تقویت عدالت زیست‌محیطی در کلان‌شهر تهران شود.

این پژوهش با وجود ارائهٔ تحلیلی جامع از وضعیت بازچرخانی آب در تهران، با چند محدودیت همراه بوده است. نخست، بخشی از داده‌ها بر پایه مصاحبه با خبرگان استخراج شده و به طور طبیعی امکان تأثیر سوگیری ذهنی یا محدودیت دسترسی به برخی افراد کلیدی وجود داشته است. دوم، به دلیل نبود برخی داده‌های به‌روز در گزارش‌های رسمی و تفاوت در کیفیت اطلاعات ارائه‌شده توسط نهادهای مختلف، هم‌سان‌سازی داده‌ها در برخی موارد با دشواری همراه بود. سوم، مدل SWOT–QSPM اگرچه ابزار قدرتمندی برای اولویت‌بندی راهبردهاست، اما تحلیل را بیشتر بر عوامل موجود متمرکز می‌کند و کمتر به پویایی‌های زمانی، سناریوهای آینده یا عدم‌قطعیت‌های اقلیمی می‌پردازد. چهارم، تمرکز پژوهش بر محدوده شهر تهران باعث شده است که نتایج آن به طور مستقیم قابل تعمیم به سایر شهرهای ایران نباشد؛ به‌ویژه شهرهایی که ساختار حکمرانی یا ظرفیت‌های فنی متفاوتی دارند. در نهایت، محدودیت در دسترسی به برخی اسناد داخلی و داده‌های اقتصادی مرتبط با هزینه - فایده بازچرخانی نیز دامنهٔ تحلیل را تا حدی محدود کرده است.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، تقویت حکمرانی بازچرخانی آب در تهران نیازمند مجموعه‌ای از اقدامات سیاستی و برنامه‌ریزی‌شده است. نخست، تدوین یک چارچوب هماهنگ حکمرانی چندسطحی که در آن نقش و مسئولیت نهادهایی همچون شهرداری تهران، شرکت آب و فاضلاب و سازمان حفاظت محیط زیست به صورت شفاف تعریف شود، می‌تواند زمینه‌ساز اجرای یکپارچه‌تر سیاست‌های بازچرخانی باشد. همچنین ایجاد نظام ملی استانداردسازی کیفیت پساب و تدوین دستورالعمل‌های مشخص برای استفاده آن در بخش‌های مختلف، به‌ویژه فضای سبز شهری و مصارف صنعتی، از ضرورت‌های اساسی ارتقای

اعتماد عمومی و افزایش کارآمدی این سیاست‌هاست. توسعهٔ سازوکارهای مالی پایدار همچون صندوق پایداری بازچرخانی آب و فراهم‌سازی بستر مشارکت بخش خصوصی نیز می‌تواند به تأمین مالی پروژه‌ها و گسترش دامنهٔ اجرا کمک کند. بهره‌گیری از سامانه‌های هوشمند پایش کیفیت و کمیت پساب، علاوه بر افزایش شفافیت، تصمیم‌گیری مبتنی بر داده را در سطح مدیریت شهری تقویت خواهد کرد. از منظر اجتماعی، اجرای برنامه‌های گستردهٔ آموزش و آگاهی‌رسانی در سطح محلات و مدارس می‌تواند پذیرش اجتماعی استفاده از آب بازیافتی را ارتقا دهد.

از سوی دیگر، این پژوهش ضرورت بررسی‌های تکمیلی در حوزهٔ بازچرخانی آب را نیز آشکار می‌سازد. برای نمونه، به‌کارگیری رویکردهای آینده‌پژوهی و سناریونویسی می‌تواند در تحلیل اثرات تغییر اقلیم و ارزیابی پایداری راهبردهای مختلف در افق بلندمدت مؤثر باشد. همچنین انجام مطالعات اقتصادی از طریق تحلیل هزینه - فایده و مدل‌سازی اقتصادسنجی می‌تواند به سیاست‌گذاران در انتخاب گزینه‌های اقتصادی‌تر کمک کند. بررسی تطبیقی تجارب شهرهای موفق جهان و تحلیل شبکهٔ ذی‌نفعان و روابط نهادی نیز می‌تواند گلوگاه‌های حکمرانی را شناسایی و مسیرهای بهبود هماهنگی نهادی را پیشنهاد کند. در نهایت، مطالعهٔ عمیق‌تر ابعاد اجتماعی و روان‌شناختی پذیرش آب بازچرخانی، از جمله ادراک ریسک و رفتار مصرف‌کنندگان، می‌تواند مکمل یافته‌های این پژوهش باشد و به طراحی سیاست‌هایی مؤثرتر در مدیریت تقاضا کمک کند.

منابع

1. Rogers P, Hall AW. Effective water governance. Stockholm: Global Water Partnership; 2003.
2. Tortajada C. Water governance: some critical issues. Int J Water Resour Dev. 2016;32(2):229–232. doi:10.1080/07900627.2015.1121132.
3. Florides F, Giannakoudi M, Ioannou G, Lazaridou D, Lamprinidou E, Loukoutos N, Katsoyiannis IA. Water reuse: a comprehensive review. Environments. 2024;11(4):81.
4. Al-Saidi M, Dehnavi S. Growing the portfolio: circular economy through water reuse in Iran. Front Water. 2024;6:1341715.
5. Abou-Shady A, Siddique MS, Yu W. A critical review of recent progress in global water reuse during 2019–2021 and perspectives to overcome future water crisis. Environments. 2023;10(9):159.
6. Shoushtarian F, Negahban-Azar M. Worldwide regulations and guidelines for agricultural water reuse: a critical review. Water. 2020;12(4):971.
7. Khan UA, Löffler P, Spilsbury F, Wiberg K, Lai FY. Towards sustainable water reuse: a critical review and meta-analysis of emerging chemical contaminants with risk-based evaluation, health hazard prediction and prioritization for assessment of effluent water quality. J Hazard Mater. 2024;480:136175. doi:10.1016/j.jhazmat.2024.136175.
8. Malinauskaite J, Delpech B, Montorsi L, Venturelli M, Gernjak W, Abily M, Stepišnik Perdih T, Nyktari E, Jouhara H. Wastewater reuse in the EU and Southern European countries: policies, barriers and good practices. Sustainability. 2024;16(24):11277. doi:10.3390/su162411277.
9. Peydayesh M, Mezzenga R. The circular economy of water across the six continents. Chem Soc Rev. 2024;53:4333–4348. doi:10.1039/D3CS00812F.
10. Asaad S, Tarawneh A, Suleiman AS. Socio-demographic factors and treated wastewater reuse in the MENA region: insights and implications. Desalination. 2023;565:116830. doi:10.1016/j.desal.2023.116830.
11. Lasseur NMCG, Holstead K, Huitema D. How is the governance of circular economy of water organized? A systematic review of the literature. Ecol Soc. 2025;30(3):36. doi:10.5751/ES-16390-300336.
12. Novalia W, Suwarso R, Nurdin I. Connecting place and multilevel governance for urban river restoration. Territ Polit Gov. 2024;13(10):1461–1486. doi:10.1080/21622671.2024.2336608.
13. Rich D, Andiroglu E, Gallo K, Ramanathan S. A review of water reuse applications and effluent standards in response to water scarcity. Water Secur. 2023;20:100154.
14. Shafiee Neyestanak J, Roozbahani A. Comprehensive risk assessment of urban wastewater reuse in water supply alternatives using hybrid Bayesian network model. Water Resour Manag. 2021;35(14):5049–5072.
15. Ghafoori S, Hassanpour Darvishi H, Mohamadvali Samani H, Taherei Ghazvinei P. Enhancing the method of decentralized multi-purpose reuse of wastewater in urban area. Sustainability. 2021;13(24):13553.
16. OECD. Water governance in OECD countries: a multi-level approach. Paris: OECD Publishing; 2011. doi:10.1787/9789264119284-en.
17. Bakker K. Constructing “public” water: the world in a cup. Water Altern. 2013;6(3):365–385.
18. Pahl-Wostl C. The role of governance modes and meta-governance in the transformation towards sustainable water governance. Environ Sci Policy. 2019;91:6–16. doi:10.1016/j.envsci.2018.10.008.
19. Gurl E. SWOT analysis: a theoretical review. 2017.
20. Phadermrod B, Crowder RM, Wills GB. Importance-performance analysis based SWOT analysis. Int J Inf Manag. 2019;44:194–203.

Urban Development Policy Making

Home Page: https://judpm.ir

Online ISSN: 3092-6564

Urban Water Sustainability through Energy-Free Fog Water Harvesting: A Review of Fog-Collecting Systems

Mohammadali Allahrabbi Shirazi[1] | Hossein Yousefi[2*] | Amirhossein Fathi[3] | Mehdi Baneshi[4]

1. PhD Student, School of Energy Engineering and Sustainable Resources, College of Interdisciplinary Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: aliallahrabbi@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Professor, School of Energy Engineering and Sustainable Resources, College of Interdisciplinary Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: hosseinyousefi@ut.ac.ir
3. Assistant Professor, School of Mechanical Engineering, University of Shiraz, Shiraz, Iran. Email: afathi@shirazu.ac.ir
4. Associate Professor, School of Mechanical Engineering, University of Shiraz, Shiraz, Iran. Email: mbaneshi@shirazu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 23 September 2025
Revised 02 November 2025
Accepted 21 November 2025
Published Online 01 January 2026

Keywords:
Urban water supply,
Fog water harvesting,
Energy-free technology,
Fresh water production,
PRISMA method,
Sustainable development.

ABSTRACT

This study reviews and analyzes methods for producing freshwater in urban systems, focusing on water harvesting from fog, a method that allows sustainable water supply without consuming energy in the production phase. Using the PRISMA approach, 20 selected studies were selected for the final analysis from 215 studies. The results show that most of the early research focused on collector geometry and was limited to simultaneous consideration of material properties, long-term durability, spatial analysis, and long-term operational data. Recent studies have focused on novel materials, biomimetic design, nanotechnology, and artificial intelligence modeling to increase system efficiency and sustainability. Passive fog collection systems can produce an average of 1.5 to 10 liters per square meter per day of water, and on an urban scale, replacing part of the water consumption can generate significant energy savings. The findings of this study can provide a clear path for future research and show policymakers the possibility of utilizing new capacities for sustainable urban water supply.

Cite this article: Allahrabbi Shirazi, M.; Yousefi, H.; Fathi, A. & Baneshi, M. (2026). Urban Water Sustainability through Energy-Free Fog Water Harvesting: A Review of Fog-Collecting Systems. *Urban Development Policy Making*, 3 (1), 69-94. DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.558718.1073

© Mohammadali Allahrabbi Shirazi, Hossein Yousefi, Amirhossein Fathi, Mehdi Baneshi
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.558718.1073

Introduction

Water is one of the most vital resources on Earth and plays a fundamental role in domestic, industrial, power and agricultural sectors. Despite the relative abundance of water, usable freshwater resources are limited and only about 0.6% of it is readily available. The increase in urban population, changing lifestyles and economic development have greatly increased the demand for water and it is predicted that between 2.2 and 2.3 billion people will face severe water shortages by 2050. Water scarcity has wide-ranging impacts on meeting human needs, ecosystems and biodiversity. The use of conventional methods of urban water supply is often associated with high energy consumption and there is a need for sustainable and low-energy solutions. Water harvesting from fog, especially using fog-absorbing nets, is a novel and energy-efficient method that can provide a local and sustainable source of water.

This research, using the PRISMA approach, reviewed 20 selected studies out of 215 studies and analyzed the benefits, limitations, and parameters affecting the efficiency of fog collection systems, clarifying the path for sustainable urban research and decision-making.

Methodology

This study is a PRISMA-type systematic review that aims to investigate freshwater production methods in urban systems and analyze fog harvesting technology. Inclusion PRISMA structured approach, 215 relevant articles were searched from reputable scientific databases (Google Scholar, ScienceDirect, and Scopus) and based on the inclusion and exclusion criteria including research, focusing on fog harvesting mesh material and geometry, specialization, and full-text access, 20 final articles were selected for analysis. The review steps included screening titles and abstracts, quality assessment, key information extraction, and data analysis, and resource management was performed with EndNote software. The study will also examine the effect of mesh material and geometry on system efficiency and the potential for reducing energy consumption if the new fog harvesting method is replaced with urban sources. This analysis provides a suitable theoretical perspective for utilizing this technology in foggy and mountainous cities, despite the assumption of sufficient fog.

Conclusion

This study investigated the role of fog harvesting systems in sustainable water supply and energy consumption reduction. Early research mainly focused on the geometry of the grids and the shape of the collectors, while the effect of material type, nanocoatings and simultaneous geometry and material design have not been comprehensively investigated. Recent studies have focused on the use of novel materials, biomimetic designs, 3D structures and artificial intelligence to predict collector performance, but long-term durability, cost and scalability still need to be developed. Passive fog harvesting systems can produce between 1.5 and more than 10 liters of water per square meter of grid per day, providing a significant part of the water demand on a city scale and reducing the energy consumption associated with water treatment and transportation. Future research should focus on systematic geometry and material design, predictive modeling and long-term testing under real conditions to increase the sustainability and scalability of this technology.

پیشرفت شهری
سیاستگذاری
سایت نشریه: https:// judpmi.ir
شاپا الکترونیکی: ۶۵۶۴-۳۰۹۲

پایداری شهری در تأمین آب از طریق برداشت آب از مه بدون مصرف انرژی: مروری بر سامانه‌های جمع‌آوری مه

محمدعلی الهربی شیرازی[۱] | حسین یوسفی[۲*] | امیرحسین فتحی[۳] | مهدی بانشی[۴]

۱. دانشجوی دکتری، دانشکدهٔ مهندسی انرژی و منابع پایدار، دانشکدگان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: aliallahrabbi@ut.ac.ir
۲. نویسندهٔ مسئول، استاد، دانشکدهٔ مهندسی انرژی و منابع پایدار، دانشکدگان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: hosseinyousefi@ut.ac.ir
۳. استادیار، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: afathi@shirazu.ac.ir
۴. دانشیار، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: mbaneshi@shirazu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۳۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱

کلیدواژه:
تأمین آب شهری،
برداشت آب از مه،
فناوری بدون مصرف انرژی،
تولید آب شیرین،
روش PRISMA،
توسعهٔ پایدار.

چکیده

این پژوهش به بررسی و تحلیل روش‌های تولید آب شیرین در سیستم‌های شهری با تمرکز ویژه بر برداشت آب از مه پرداخته است؛ روشی که بدون نیاز به مصرف انرژی در مرحلهٔ تولید، امکان تأمین آب پایدار را فراهم می‌آورد و می‌تواند به کاهش فشار بر منابع آب شهری کمک کند. با استفاده از رویکرد سیستماتیک PRISMA، از بین ۲۱۵ مطالعهٔ موجود، ۲۰ مطالعهٔ منتخب برای تحلیل نهایی انتخاب شدند تا مروری جامع بر پیشرفت‌های علمی و تکنولوژیک این حوزه ارائه شود. نتایج نشان می‌دهد بیشتر پژوهش‌های اولیه عمدتاً بر هندسه و طراحی کلکتورها تمرکز داشته‌اند، در حالی که بررسی هم‌زمان جنس مواد، دوام طولانی‌مدت، تحلیل مکانی و داده‌های عملیاتی بلندمدت هنوز محدود است. مطالعات اخیر توجه بیشتری به مواد نوین، طراحی زیست‌تقلید، فناوری نانو و به‌کارگیری مدل‌های هوش مصنوعی برای بهبود راندمان و پایداری سیستم دارند. سیستم‌های جمع‌آوری غیرفعال مه می‌توانند به طور متوسط ۱/۵ تا ۱۰ لیتر آب در روز به ازای هر مترمربع تولید کنند و در مقیاس شهری، جایگزینی بخشی از مصرف آب می‌تواند صرفه‌جویی قابل توجهی در انرژی به وجود آورد. یافته‌های این مطالعه می‌تواند مسیر روشنی برای تحقیقات آینده ارائه دهد و به سیاست‌گذاران امکان بهره‌گیری از ظرفیت‌های نوین برای تأمین پایدار آب شهری را نشان دهد.

استناد: الهربی شیرازی، محمدعلی؛ یوسفی، حسین؛ فتحی، امیرحسین و بانشی، مهدی (۱۴۰۵). پایداری شهری در تأمین آب از طریق برداشت آب از مه بدون مصرف انرژی: مروری بر سامانه‌های جمع‌آوری مه. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۳ (۱) ۶۹-۹۴.
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.558718.1073

© محمدعلی الهربی شیرازی، حسین یوسفی، امیرحسین فتحی، مهدی بانشی
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.558718.1073

۱. مقدمه

آب از باارزش‌ترین منابع روی زمین است که در بخش‌های مختلف زندگی انسان نقش حیاتی دارد. در بخش خانگی، برای آشامیدن و فعالیت‌های روزمره؛ در صنعت به عنوان حلال یا خوراک شیمیایی؛ در نیروگاه‌ها به عنوان خنک‌کننده و کشاورزی برای آبیاری، به آب نیاز دارند [۱]. با وجود فراوانی آب روی زمین، منابع قابل استفادهٔ شیرین محدود و ناپایدار هستند؛ تنها حدود ۰/۶ درصد از آب شیرین به‌راحتی در دسترس است و بخش عمدهٔ آن در یخچال‌های طبیعی، یخ‌های قطبی و سفره‌های عمیق زیرزمینی قرار دارد [۲–۴]. افزایش جمعیت شهری، تغییر سبک زندگی و توسعهٔ اقتصادی باعث افزایش شدید تقاضای آب شده است، به گونه‌ای که پیش‌بینی می‌شود تعداد افرادی که با کمبود آب شدید مواجه خواهند بود تا سال ۲۰۵۰ بین ۲/۲ تا ۲/۳ میلیارد نفر باشند؛ این به دلیل این است که انتظار می‌رود جمعیت ۳/۵ میلیارد نفری که در سال ۲۰۱۰ در مناطق شهری زندگی می‌کردند به ۶/۳ میلیارد نفر در سال ۲۰۵۰ افزایش یابد [۵ و ۶].

کمبود آب نه تنها بر تأمین نیازهای انسانی تأثیر می‌گذارد، بلکه اثرات گسترده‌ای بر اکوسیستم‌ها، پوشش گیاهی و تنوع زیستی دارد [۷ و ۸]. بخش شهری به دلیل تراکم جمعیت و الگوی مصرف بالا، به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه و مناطق خشک، بیشترین فشار را بر منابع آب وارد می‌کند. استفاده از روش‌های مرسوم تأمین آب شهری اغلب با مصرف انرژی بالایی همراه است و به همین‌دلیل نیاز به راهکارهای پایدار و کم‌انرژی برای تأمین آب شهری احساس می‌شود [۹]. یکی از فناوری‌های نوین و تجدیدپذیر، برداشت آب از مه موجود در هوا است که در صورت استفاده از توری‌های جاذب مه می‌تواند بدون مصرف انرژی عمل کند و منبعی پایدار و محلی برای تأمین آب فراهم آورد [۱۰ ـ ۱۲].

استفادهٔ محدود از فناوری برداشت آب از مه موجود در هوا در کشورهای مختلف جهان، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که دسترسی به منابع آبی محدود است، به عنوان یک راهکار نوین و پایدار برای تأمین آب آشامیدنی و کشاورزی در نظر گرفته شده است. این فناوری، که از فرایند جذب آب از رطوبت موجود در هوا استفاده می‌کند، پتانسیل بالایی برای حل مشکلات کم‌آبی در این مناطق دارد. ظرفیت این روش برای توسعه، به دلیل قابلیت بهره‌برداری از منابع غیر قابل دسترس همچون مه و بخار آب موجود در جو، موجب توجه روزافزون به آن در سطح جهانی شده است. بنابراین، این فناوری به عنوان یک راه‌حل پایدار و قابل اعتماد در مقابله با چالش‌های جهانی کم‌آبی، به‌ویژه در آینده‌ای نزدیک، جایگاه مهمی پیدا خواهد کرد.

با توجه به ماهیت مروری این تحقیق، هدف تحلیل و بررسی کلیهٔ مطالعات و نتایج موجود در زمینهٔ برداشت آب از مه و سیستم‌های تأمین آب شهری بوده است. از این‌رو، در این مقاله به جای مرور ادبیات تحقیق، تمرکز بر ارزیابی و تحلیل نتایج پژوهش‌های پیشین در قالب یک جمع‌بندی جامع قرار گرفت. این رویکرد به ما امکان می‌دهد که تصویری کلی و سیستماتیک از وضعیت کنونی این فناوری‌ها ارائه دهیم و شکاف‌های تحقیقاتی را شناسایی کنیم.

هدف این پژوهش، بررسی و تحلیل روش‌های مختلف تولید آب شیرین در سیستم‌های شهری و ارزیابی مزایا و محدودیت‌های هر روش است. روش برداشت آب از مه به عنوان یک روش بدون مصرف انرژی در مرحلهٔ تولید آب پیشنهاد شده و تأثیر پارامترهای کلیدی مانند جنس و هندسهٔ توری‌های جمع‌آوری مه بر کارایی این سیستم‌ها در مطالعات مختلف مرور شده است. با استفاده از رویکرد PRISMA، از میان ۲۱۵ مطالعهٔ اولیه، ۲۰ مطالعهٔ منتخب برای تحلیل نهایی انتخاب شدند تا تصویری جامع و سیستماتیک از وضعیت پژوهش‌های موجود ارائه شود. نتایج حاصل، علاوه بر روشن کردن مسیر پژوهش‌های آینده، می‌تواند به سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران شهری دیدگاهی عملی و نوین برای بهره‌برداری از منابع آب جایگزین و ارتقای پایداری تأمین آب شهری ارائه کند.

۲. روش‌شناسی

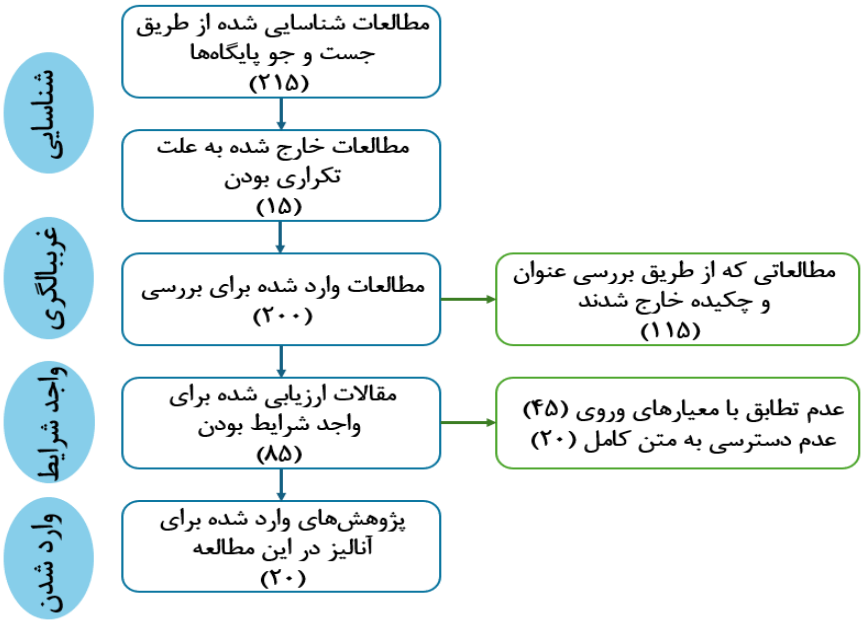
این مطالعه نوعی پژوهش مروری به روش پریسما (PRISMA) است که برای انجام مرور سیستماتیک و متاآنالیزها به منظور افزایش شفافیت و دقت در گزارش‌نویسی و انتخاب مقالات طراحی شده است [۱۳]. روش پریسما شامل مراحل جست‌وجوی مقالات، بررسی عناوین و چکیده‌ها، ارزیابی کیفیت مطالعات و تحلیل داده‌ها است. یکی از ویژگی‌های مهم این روش، استفاده از

نمودار جریان مقالات است که روند انتخاب و حذف مقالات را نشان می‌دهد و بر شفافیت تصمیم‌گیری می‌افزاید. فلوچارت مربوط به روند بررسی مقالات در این پژوهش به روش PRISMA در شکل ۱ نمایش داده شده است.

جامعهٔ آماری شامل اسناد و مقالات در دسترس با موضوع سیستم استحصال آب از مه به تعداد ۲۱۵ مقاله است. روش نمونه‌گیری با ابزار بررسی اسنادی مرتبط با موضوع و با کلیدواژه‌های: تولید آب شیرین، استحصال آب از مه، توری جاذب مه، جنس و هندسهٔ توری، تولید آب پایدار و تصفیهٔ آب انجام شد. پس از بررسی‌های اولیه و رسیدن به کلیدواژگان مشخص‌تر در زمینهٔ جنس و هندسهٔ توری جاذب مه بر کارایی سیستم؛ سؤالات پژوهش به صورت زیر مطرح شد:

- انواع روش‌های موجود تولید آب شیرین در سیستم‌های آب شهری چه مزایا و معایبی دارند؟
- روند مطالعات در فناوری استحصال آب از مه، به چه سمتی رفته است؟
- اثر جنس و هندسهٔ توری جاذب مه در مطالعات تا چه اندازه است؟
- فناوری برداشت آب از مه بدون مصرف انرژی تا چه اندازه می‌تواند به صرفه‌جویی در مصرف انرژی کمک کند؟

مطالعهٔ حاضر با جست‌وجوی مقالات در پایگاه‌های معتبر علمی انگلیسی، ازجمله Google Scholar، ScienceDirect و Scopus انجام شد. در این جست‌وجو، از کلیدواژه‌های بیان‌شده به زبان انگلیسی، شامل Freshwater production, fog water harvesting, fog-absorbing net, net material and geometry, sustainable water production and water purification استفاده شد.



شکل ۱. فلوچارت پریسما از روند بررسی و انتخاب مقالات در مطالعهٔ حاضر

محدودهٔ زمانی مقالات بررسی‌شده از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ در نظر گرفته شد و مقالات براساس معیارهای مشخصی انتخاب شدند. این معیارها شامل پژوهشی بودن مقالات انگلیسی، تخصصی بودن آن‌ها در زمینهٔ اثر جنس و هندسهٔ توری‌های جاذب مه بر کارایی و همچنین، بررسی تأثیر این مفاهیم بر یکدیگر بود. علاوه بر این، تنها مقالاتی انتخاب شدند که دسترسی به متن کامل آن‌ها امکان‌پذیر بود و کلمات کلیدی جست‌وجو شده یا معادل‌های آن‌ها در عنوان یا چکیدهٔ مقاله وجود داشت. همچنین، مقالات تکراری از روند انتخاب حذف شدند تا از بررسی‌های مجدد و اطلاعات تکراری جلوگیری شود.

منابع استخراج‌شده مورد بررسی قرار گرفتند؛ به این‌صورت که ابتدا عنوان و چکیدهٔ مقالات و در صورت نیاز، متن مقاله مورد مطالعه قرار گرفت. سپس، برای بررسی بیشتر متن کامل مطالعات مرتبط با پژوهش حاضر مطالعه شده و مقالات نهایی انتخاب شدند. برای اطمینان بیشتر، همهٔ مراحل جست‌وجو دوباره تکرار شد. برای مدیریت منابع از نرم‌افزار اندنوت نسخهٔ ۲۱ استفاده شد.

برای استخراج اطلاعات مورد نظر از فرمی شامل نام نویسنده، سال چاپ مقاله، عنوان مقاله، حوزهٔ تمرکز پژوهش و یافته‌ها و نتایج اصلی استفاده شد. از ۲۱۵ مقالهٔ مورد بررسی و پس از لحاظ کردن معیارهای ورود و خروج، ۲۰ مقاله در بررسی نهایی و سپس، با استفاده از چک‌لیست پریسما، مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است.

معیارهای ورود و خروج مقالات در این پژوهش به گونه‌ای تعیین شدند که فقط مطالعات مرتبط و باکیفیت بررسی شوند. معیارهای ورود شامل پژوهشی بودن مقاله، تمرکز بر فناوری استحصال آب از مه، بررسی اثر جنس و هندسهٔ توری جاذب مه بر عملکرد سیستم، و دسترسی به متن کامل مقاله بود. همچنین، مقالات باید به زبان انگلیسی منتشر شده و کلمات کلیدی مربوطه در عنوان یا چکیدهٔ آن‌ها وجود داشته باشد. از سوی دیگر، مقالات تکراری، غیرمرتبط یا بدون دسترسی به متن کامل، از روند بررسی حذف شدند تا تحلیل نهایی تنها بر مبنای داده‌های معتبر و مرتبط انجام شود.

۳. نتایج

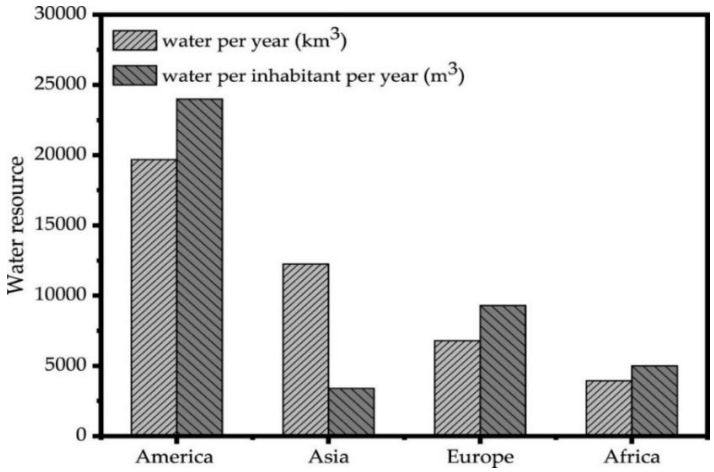
از بین مقالات استخراج‌شده، تعداد ۲۰ مقاله واجد شرایط برای ورود به مطالعه انتخاب شد. پس از مطالعه و بررسی، شرح نتایج بررسی مطالعات بیان می‌شود و سپس در جدول بخش مطالعات منتخب خلاصه‌وار ارائه می‌شود.

به طور کلی، نتایج این مطالعه در دو بخش اصلی ارائه می‌شود. در بخش نخست، یافته‌ها و اطلاعات کلیدی استخراج‌شده از مقالات در حوزهٔ آب و تولید آب از طریق سامانه‌های توری جاذب مه مرور می‌شود تا دید جامعی از وضعیت پژوهش‌های انجام‌شده در سطح جهانی به دست آید. در بخش دوم، مطالعات منتخب به صورت تحلیلی مورد بررسی قرار می‌گیرد و شکاف‌ها و خلأهای تحقیقاتی موجود در زمینهٔ کارایی، جنس و هندسهٔ توری‌های جاذب مه تبیین می‌شود.

این پژوهش به منظور ارائهٔ یک مرور کامل و جامع از وضعیت موجود در حوزهٔ تولید آب شیرین و روش‌های مختلف آن انجام شده است. ابتدا به بررسی انواع روش‌های تولید آب شیرین پرداخته شده، سپس چالش‌های موجود در فرایندهای مختلف تولید و مصرف آب مورد توجه قرار گرفته است. علاوه بر این، فناوری برداشت آب از مه نیز به عنوان یک روش نوین و کم‌مصرف انرژی در تأمین آب مورد بررسی قرار گرفته و تأثیر پارامترهای مختلف بر کارایی این سیستم‌ها تحلیل شده است. این بررسی در یک خط داستانی مشخص صورت گرفته که درک موضوع اصلی پژوهش روان‌تر شود.

۳–۱. تأمین آب شهری

در وهلهٔ اول، بررسی یافته‌های کمی و کیفی وضعیت و چالش‌های حوزهٔ آب دید مناسبی به شرایط فعلی می‌دهد. برآوردی از وضعیت سرانهٔ آب در مناطق مختلف جهان در شکل ۲ نشان داده شده است [۱۴]. سرانهٔ منابع آب در سال در قارهٔ آمریکا و سپس، اروپا دارای بیشترین مقدار و قارهٔ آسیا به واسطهٔ جمعیت قابل توجه در مقابل دیگر قاره‌ها، کمترین مقدار را دارد. این شکل به نحوی نشان می‌دهد آب در آسیا می‌تواند اهمیتی دو چندان داشته باشد و توسعهٔ سیستم‌های آبی یک امر ضروری شود.



شکل ۲. میزان منابع آب و وضعیت سرانهٔ آن در مناطق مختلف [۱۴]

پس با توجه به اهمیت آب در بخش‌های مختلف زندگی شهری و حتی غیر شهری، ضروری است که در حفظ، احیا و تولید منابع آب اقدامات لازم صورت گیرد. در ادامه به برخی از روش‌های کلیدی تولید آب شیرین و اهمیت آن‌ها در رفع نیازهای جهانی آب پرداخته می‌شود. مطالعهٔ این روش‌ها کمک می‌کند که فناوری‌های موجود به منظور تولید آب شیرین شناخته شده و مزایا و معایب هر یک مطرح شود. برای کمک به رفع یکی از مشکلات مشترک آن‌ها، نوعی فناوری معرفی می‌شود و پژوهش حاضر بر مبنای این فناوری و کمک به بهبود آن انجام می‌شود.

۳-۱-۱. انواع روش‌های تولید آب شیرین

آب شیرین، یک منبع محدود است و در دسترس تمام جوامع انسانی نیست. در نتیجه باید از فناوری‌های موجود برای تولید آب شیرین و آشامیدنی و یا حتی آب مورد نیاز در امور روزمره و بخش صنعتی، استفاده کرد و به منظور توسعه و بهینه‌سازی آن‌ها کوشید. آب باید عاری از مواد جامد معلق، میکروارگانیسم‌ها و مواد شیمیایی سمی باشد. توصیهٔ غلظت مواد معدنی از کشوری به کشور دیگر متفاوت است، اما اکثر مواد معدنی دارای حداکثر غلظت توصیه‌شده برای اطمینان از آب سالم، متعادل و دلپذیر برای نوشیدن هستند. املاح معدنی زیادی در استانداردسازی آب شیرین نقش دارند. در جدول ۱ میزان برخی از این املاح که دارای اهمیت بیشتری هستند، برای تعیین استاندارد آب شیرین توسط سه نهاد مختلف بیان شده است. این نهادها به‌ترتیب آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحدهٔ آمریکا (EPA)[1]، WHO و اتحادیهٔ اروپا (EU)[2] هستند. شباهت زیادی بین این استانداردها وجود دارد و میزان اختلاف ناچیز است. واحد اعداد جدول ۱، میلی‌گرم بر لیتر است. این مقادیر به صورت حداکثر مجاز است.

جدول ۱. استاندارد میزان املاح آب شیرین توسط سه نهاد مختلف [۱۵]

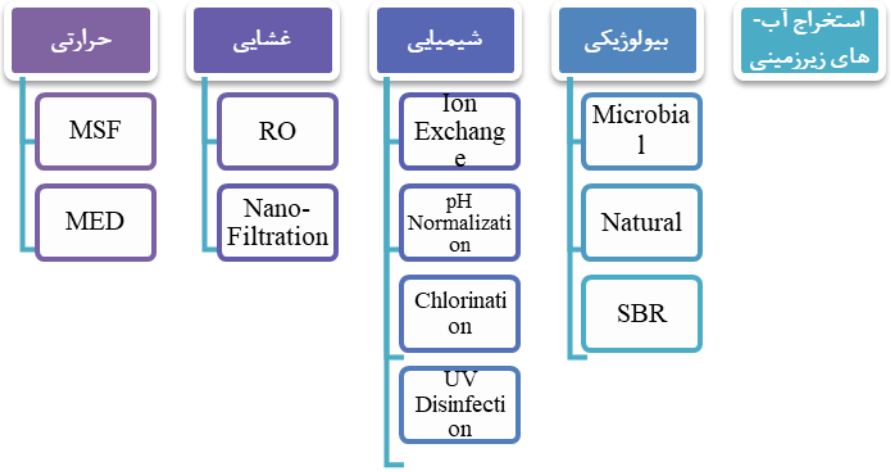
نوع املاح	نام نهاد		
	EPA	WHO	EU
بنزن[3]	۰/۰۰۵	۰/۰۱	۰/۰۰۱
برومات[4]	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
کادمیم[5]	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵
کرومیوم[6]	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۵
آنتیموان[7]	۰/۰۰۶	۰/۰۲	۰/۰۰۵
فلورید[8]	۲	۱/۵	۱/۵
جیوه[9]	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱
نیترات[10]	۱۰	۱۱/۳	۱۱/۳
نیتریت[11]	۱	۱	۰/۱۵
سلنیوم[12]	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۱
تتراکلرواتیلن[13]	۰/۰۰۵	۰/۰۴	۰/۰۱

1. United States Environmental Protection Agency (EPA)
2. European Union (EU)
3. Benzene
4. Bromate
5. Cadmium
6. Chromium
7. Antimony
8. Fluoride
9. Mercury
10. Nitrate
11. Nitrite
12. Selenium
13. Tetrachloroethylene

با دانستن این استانداردها می‌توان، کیفیت آب تولیدی را به کیفیت مناسب رساند و به آب آشامیدنی تبدیل کرد. به طور کلی، روش‌های تولید آب شیرین به دو دستهٔ روش‌های رایج (کاربرد بیشتر) و روش‌های غیر رایج تقسیم می‌شود که در ادامه شرح داده خواهد شد.

۳-۱-۱-۱. روش‌های رایج تولید آب شیرین

تولید آب شامل فرایندهای مختلفی برای اطمینان از در دسترس بودن آب شیرین و سالم است. مهم‌ترین و رایج‌ترین روش‌ها به پنج دسته طبقه‌بندی شده که در شکل ۳ نشان داده شده است. این پنج روش شامل روش‌های حرارتی[۱]، غشایی[۲]، شیمیایی، بیولوژیکی[۳] و استخراج آب‌های زیرزمینی[۴] می‌شود. هر یک نیز دارای فناوری‌های مختلفی مانند تقطیر چندمرحله‌ای (MSF)[۵] و تقطیر چند اثره (MED)[۶] برای روش حرارتی؛ اسمز معکوس (RO)[۷] و نانو فیلتراسیون برای روش غشایی؛ تبادل یونی[۸]، نرمال‌سازی pH، کلرزنی[۹] و تصفیه با اشعهٔ UV[۱۰] برای روش شیمیایی؛ سیستم‌های میکروبی، طبیعی و راکتور ناپیوسته متوالی (SBR)[۱۱] برای روش بیولوژیکی است. هر روش مزایای خود را دارد و بسته به منبع آب، نیازهای کیفی و ملاحظات زیست‌محیطی برای شرایط مختلف مناسب است. فناوری‌های دیگری نیز وجود دارد، اما روش و فناوری‌های موجود در شکل ۳ مرسوم‌تر هستند. درخور یادآوری است که به طور مثال در فرایند روش RO، می‌توان از مواد شیمیایی مشخصی استفاده کرد و در نتیجه، فقط در روش غشایی قرار نگیرد.



شکل ۳. تولید آب شیرین با روش و فناوری‌های گوناگون [۱۶ ـ ۲۰]

دو فناوری به عنوان نمونه برای بیان پیچیدگی و مصرف انرژی در تولید آب شیرین بررسی می‌شوند:

ـ روش اسمز معکوس (RO) که با استفاده از غشای نیمه‌تراوا، آب را از مواد دیگر جدا کرده و انواع مواد شیمیایی و بیولوژیکی را حذف می‌کند. این روش برای تولید آب آشامیدنی و فرایندهای صنعتی استفاده می‌شود.

1. Thermal Methods
2. Membrane Methods
3. Biological Methods
4. Groundwater Extraction
5. Multi-Stage Flash Distillation (MSF)
6. Multi-Effect Distillation (MED)
7. Reverse Osmosis (RO)
8. Ion Exchange
9. Chlorination
10. UV Disinfection
11. Sequential Batch Reactor (SBR)

ـ روش کلرزنی نیز به فرایند ضد عفونی آب با افزودن کلر برای از بین بردن میکروب‌ها می‌پردازد و از پمپ‌ها و کلریناتورها برای کنترل مقدار کلر تزریقی استفاده می‌کند. در ادامه، چالش‌های مصرف انرژی این روش‌ها بررسی خواهد شد [۲۱].

۳-۱-۱-۲. روش‌های غیر رایج تولید آب شیرین

روش‌هایی مانند صرفه‌جویی در مصرف آب و برداشت آب باران به عنوان راهکارهایی غیرمستقیم برای تولید آب شیرین مورد توجه قرار گرفته‌اند، اما به دلیل محدودیت‌های مختلف، کاربرد کمتری دارند. صرفه‌جویی در مصرف آب می‌تواند ۲۰ تا ۳۰ درصد از مصرف را کاهش دهد، و سیستم‌های برداشت آب باران در برخی کشورها به دلیل مزایای اقتصادی و رایگان بودن آب باران استفاده می‌شوند [۲۲]. اما این روش‌ها محدود به سطح برداشت و ذخیره‌سازی، آلودگی آب بر اثر انباشت، کاهش منابع آب زیرزمینی و تغییرات اقلیمی هستند. علاوه بر این، آلودگی آب توسط آلاینده‌های سمی مانند سرب، جیوه و آنتی‌بیوتیک‌ها، که می‌توانند سرطان‌زا و جهش‌زا باشند، یکی از چالش‌های اصلی است [۲۳ ـ ۲۵]. این مشکلات نیاز به توسعهٔ فناوری‌های جدیدی دارد که معایب فوق را نداشته باشند و یا آن‌ها را به حداقل برسانند.

تولید آب شیرین با تصفیهٔ آب و تمام فناوری‌های بیان‌شده مزایا و معایب زیادی دارند که در جدول ۲ به برخی از آن‌ها پرداخته می‌شود.

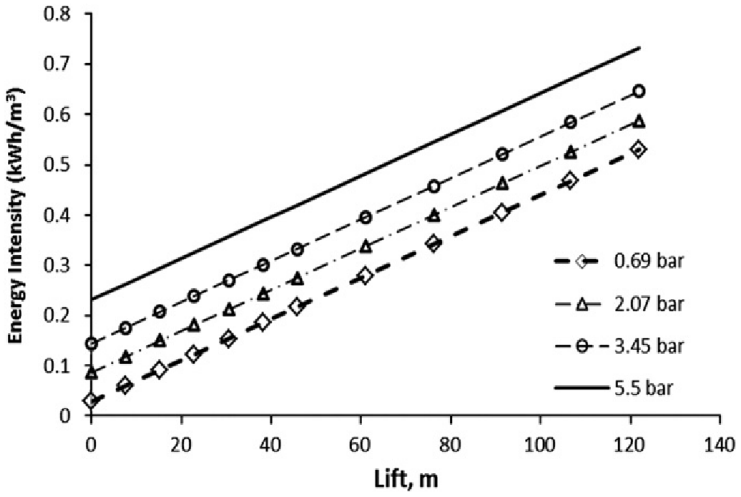
جدول ۲. مزایا و معایب فناوری‌های تولید آب شیرین [۲۶ و ۲۷]

فناوری	مزایا	معایب
تقطیر	کیفیت بالای خروجی، فرایند طبیعی	فرایند تولید آرام، گران
اسمز معکوس	مصرف کم انرژی، فضای مورد نیاز کم	نیاز به فشار بالا، دارای محدودیت
راکتور ناپیوسته متوالی	دارای کنترل کیفیت، ارزان	پیچیدگی، فضای مورد نیاز زیاد
تقطیر چندمرحله‌ای	طول عمر بالا	مصرف زیاد انرژی، دارای محدودیت
سیستم میکروبی	سیستم ساده، ارزان	تولید زیاد لجن و مشکل دفع
استخراج آب‌های زیرزمینی	کیفیت بالای آب، پایدار	آسیب زیست‌محیطی، گران

۳-۱-۲. چالش روش‌های تولید آب شیرین

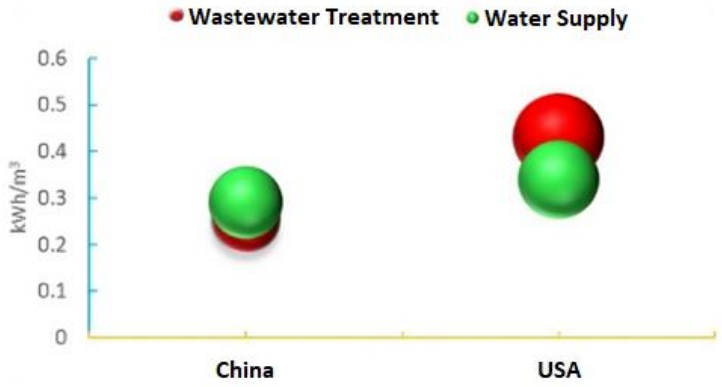
در این بخش، به یکی از چالش‌های مهم در فرایندهای تولید آب شیرین پرداخته می‌شود: مصرف انرژی. تمامی فناوری‌های تولید آب شیرین به نوعی انرژی مصرف می‌کنند، و این مصرف انرژی در هر مرحله از چرخهٔ تأمین، تصفیه، استفاده و دفع آب وجود دارد. شدت مصرف انرژی به نوع فناوری‌های استفاده‌شده بستگی دارد و برای برخی از روش‌ها این مصرف انرژی کم و برای بیشتر آن‌ها بالا است. مصرف انرژی در بخش‌هایی همچون پمپاژ آب، فرایندهای حرارتی و دستگاه‌های الکتریکی مانند سیستم‌های UV تأثیر زیادی بر هزینه‌ها و کارایی دارند. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند تا سال ۲۰۵۰، با افزایش جمعیت شهری، چالش‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی افزایش می‌یابد و در عین حال فرصت‌هایی برای بهبود کارایی انرژی ایجاد خواهد شد [۲۸]. با توجه به اینکه بخش عمده‌ای از مصرف انرژی شهری متعلق به بخش آب و فاضلاب است و مصرف انرژی در این بخش طی ۱۵ سال آینده ۶۰ تا ۱۰۰ درصد افزایش خواهد یافت، نیاز به فناوری‌های جدید برای کاهش مصرف انرژی و حفظ کیفیت آب تصفیه‌شده به یک نگرانی جهانی تبدیل شده است [۲۹].

آب و انرژی را نمی‌توان از هم جدا کرد؛ به این معنا که انرژی برای تولید آب شیرین و آب برای تولید انرژی استفاده می‌شود. تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب با انرژی کار می‌کنند: پمپ‌ها، کمپرسورهای هوا، هواکش‌های سطحی، ماشین‌های آبگیری، تجهیزات آنالیز، میکسرها، قطعات متحرک و سایر ماشین‌آلات واحدهای ضروری در هر تصفیه‌خانه هستند. در شکل ۴ میزان مصرف انرژی به منظور پمپاژ آب تحت شرایط مختلف نشان داده شده‌اند.



شکل ٤. برق مورد نیاز برای پمپاژ ۱ متر مکعب آب تحت ارتفاع و فشاری‌های مختلف [۳۰]

شدت انرژی، همان‌طور که بیان شد، در بخش‌های فرایند تأمین آب سالم و شیرین، مقدار قابل توجهی است. این میزان مصرف باید با بهبود کارایی و افزایش بهره‌وری سیستم‌های تولید آب و یا با استفاده و گسترش فناوری‌های نوین کم‌مصرف یا بدون مصرف انرژی (مانند توری‌های جاذب مه برای تولید آب سالم)، جایگزین کرد. میانگین شدت انرژی تأمین آب آشامیدنی و تصفیهٔ فاضلاب در چین و ایالات متحده (USA) در شکل ۵ نشان داده شده است. در حالی که شدت انرژی برای تأمین آب آشامیدنی نسبتاً نزدیک است (۰/۲۹ کیلووات ساعت بر متر مکعب برای چین و ۰/۳۴ کیلووات ساعت بر متر مکعب برای ایالات متحده آمریکا)، شدت انرژی برای تصفیهٔ فاضلاب در ایالات متحده تقریباً دو برابر است (۰/۴۳ کیلووات ساعت بر متر مکعب در مقایسه با ۰/۲۵۴ کیلووات ساعت در متر مکعب برای چین). همچنین، مشاهده شده که در چین، شدت انرژی برای تأمین آب آشامیدنی بیشتر از تصفیهٔ فاضلاب است، در حالی که در ایالات متحده، تصفیهٔ فاضلاب بسیار انرژی‌بر است.



شکل ۵. میانگین شدت انرژی تأمین آب آشامیدنی و تصفیهٔ فاضلاب در چین و آمریکا [۳۱]

با توجه به اینکه حدود ۹۷ درصد آب را آب شور تشکیل می‌دهد، نمک‌زدایی در تمام نقاط جهان اهمیت فزاینده‌ای پیدا کرده است. آب اقیانوس‌ها توسط نمک، باکتری‌ها و ذرات، آلوده شده است. برای مصرف انسان، آب اقیانوس‌ها باید نمک‌زدایی و تصفیه شود. با این‌حال، نمک‌زدایی همچنان یک فرایند انرژی‌بر و بسیار گران برای غلبه بر کمبود آب است. به‌طور مثال، نمک‌زدایی حرارتی[1] آب که یکی از روش‌های قدیمی و رایج تولید آب‌شیرین است، انرژی قابل توجهی مصرف می‌کند. مصرف انرژی ویژه بالا که به‌تازگی با سوخت‌های فسیلی گران‌قیمت و هزینه‌های بالای تولید آب مواجه شده، محدودیت‌های اصلی تکنیک‌های نمک‌زدایی حرارتی است [۳۲]. به طور کلی، حدود ۱۰ هزار تن سوخت فسیلی در سال برای تولید ۱۰۰۰ متر مکعب

1. Thermal Desalination

آب شیرین با استفاده از نمک‌زدایی آب دریا مورد نیاز است [۳۳]. روش‌های نمک‌زدایی معمولاً به دو دسته فرایندهای حرارتی و غشایی تقسیم می‌شوند. در فرایند حرارتی، آب دریا گرم شده و بخار به آب مقطر تبدیل می‌شود، که این روش نیاز به انرژی الکتریکی و حرارتی دارد. این روش به‌ویژه در کشورهای خلیج فارس که دارای آب‌های شور با شوری بالا هستند، کاربرد فراوانی دارد. در فناوری غشایی، آب شور از طریق یک غشا با فشار بالا از سمت غلظت بالا به سمت غلظت پایین عبور داده می‌شود تا آب آشامیدنی تولید شود [۳۴]. با توجه به استفادهٔ زیاد از سوخت‌های فسیلی در کشورهای آسیایی و منطقهٔ خلیج فارس، این روش‌ها به طور گسترده‌ای در این مناطق توسعه یافته‌اند. به منظور کاهش مصرف انرژی در حوزهٔ تأمین آب، روش‌های کم‌مصرف‌تر مانند استفادهٔ مجدد از فاضلاب، جمع‌آوری آب باران و شیرین‌سازی آب پیشنهاد می‌شود، که هر یک چالش‌های خاص خود را دارند که پیش‌تر مطرح شد.

جدول ۳ میزان انرژی مصرفی به ازای هر مترمکعب آب تصفیه‌شده در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کشورهای آلمان، اسپانیا و ایتالیا را نشان می‌دهد.

تشدید تقاضای جهانی انرژی، وابستگی به سوخت‌های فسیلی و جمعیت رو به رشد، ما را با بحران انرژی مواجه کرده است [۳۵]. مصرف انرژی، مسئول ۶۰ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای[1] است [۳۶]. اگر این روند معکوس نشود، تغییرات عمده‌ای در آب‌وهوای جهان رخ می‌دهد که تأثیر قابل توجهی بر مردم، صنعت و اقتصاد جهانی خواهد داشت. از سریع‌ترین، ارزان‌ترین و آسان‌ترین راه‌ها برای مهار تغییرات آب‌وهوایی، بهره‌وری انرژی و بهبود تقاضای انرژی است.

جدول ۳. میزان مصرف انرژی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کشورهای آلمان، اسپانیا و ایتالیا [۳۷]

کشور	مصرف انرژی (kWh/m^3)
آلمان	۰/۱۵۵ ـ ۶۹۷
اسپانیا	۰/۰۴۷ ـ ۰/۹۰۵
ایتالیا	۰/۴۸۵ ـ ۲/۹۷۱

چند راه ممکن برای کاهش تقاضای انرژی مانند افزایش بازده ترمودینامیکی تجهیزات تبدیلی مانند دیگ‌ها یا موتورها، با استفاده از سیستم‌های غیرفعال در بخش‌های مختلف و حتی حوزهٔ آب وجود دارد. یکی از مسائل اصلی مرتبط با افزایش مصرف انرژی، بدتر شدن کیفیت محیطی است که از انتشار بیشتر آلاینده‌های تشکیل‌شده نشئت می‌گیرد. وجود دائمی این حالت، می‌تواند آب، خاک یا جو را آلوده کند.

میزان مصرف انرژی برای تصفیهٔ آب فاضلاب در کشورهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. اکنون به میزان مصرف انرژی به منظور تولید آب شیرین در فناوری‌های مختلف پرداخته می‌شود. جدول ۴ میزان انرژی مصرفی فناوری‌های مختلف را به ازای ۱ مترمکعب آب شیرین تولیدی نشان می‌دهد.

جدول ٤. میزان مصرف انرژی در فناوری‌های مختلف تولید آب شیرین [۳۷]

فناوری	مصرف انرژی (kWh/m^3)
تصفیهٔ آب سطحی	۰/۲ ـ ۰/۴
استفادهٔ مجدد آب آشامیدنی	۱/۵ ـ ۲
نمک‌زدایی آب شور (غیر از دریا و اقیانوس)	۱/۰ ـ ۱/۵
نمک‌زدایی آب اقیانوس آرام	۲/۵ ـ ۴
اسمز معکوس	۲/۵ ـ ۳/۱

مقادیر انرژی مصرفی برای تولید آب شیرین بالا است. تلاش‌هایی برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند آب‌شیرین‌کن‌ها و تصفیه‌کننده‌های خورشیدی انجام شده، اما به دلیل هزینهٔ بالا و کارایی سطح پایین، در مقیاس بزرگ قابل اجرا

1. Greenhouse Gas (GHG)

نیستند. بنابراین، مصرف انرژی در تولید آب همچنان چالشی جدی است و نیاز به تحقیق و توسعه به منظور کاهش مصرف انرژی و بهره‌برداری از فناوری‌های نوین وجود دارد. راه‌حل‌های پیشنهادی برای حل این مشکل در ادامه مطرح خواهد شد.

یکی از روش‌های تولید آب شیرین، استحصال (برداشت و جمع‌آوری) آب از مه موجود در هوا (FWH)[1] با توری‌های مشبک (جمع‌کنندهٔ آب از مه[2]) است که مصرف انرژی صفر (هنگام تولید آب) را دارد. استحصال آب از هوا با روش‌های مختلف انجام می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها شامل باروری ابرها[3]، توری مه[4]، کلکتور شبنم[5]، تقطیرکنندهٔ مبتنی بر جذب (تقطیر خورشیدی)[6] می‌شود. روش جذب و تراکم[7] از پرکابردترین فناوری‌ها هستند.

در این فناوری، آب از مه توسط توری‌ها استحصال و در مخزنی زیر آن ذخیره می‌شود، بدون اینکه انرژی مصرف شود. این آب برای مصرف در بخش‌های مختلف مانند کشاورزی مستقیم استفاده می‌شود، اما برای تبدیل آن به آب آشامیدنی، باید املاح مورد نیاز اضافه شده و آلودگی‌ها حذف شوند که این کار با استفاده از فیلترهای مناسب و پمپ آب انجام می‌شود. در مجموع، مصرف انرژی در این فناوری بسیار پایین است. اساس کارایی این فناوری به وجود مه مناسب بستگی دارد. طبیعت نیز راه‌حل‌هایی برای برداشت آب از مه ارائه کرده است که بسیاری از گونه‌های گیاهی و جانوری در مناطق خشک با ساختارهای خاص خود این کار را انجام می‌دهند.

برداشت آب از مه بر اساس اصل فیزیکی است که در آن مولکول‌های آب مه به سطح جامد می‌چسبند. برخی گیاهان قادر هستند در هوای مه‌آلود شبنم جمع‌آوری کنند تا کمبود آب را جبران کنند. ایدهٔ برداشت آب مه ابتدا توسط کشاورزان ایجاد شد که برای جمع‌آوری آب از هوای مرطوب، حفره‌ها و ظروفی در اطراف گیاهان قرار می‌دادند. این ابتکارات به سازه‌های برداشت مه تبدیل شد و تحقیقات بیشتری در این زمینه با الهام از طبیعت انجام شد. به‌ویژه از ویژگی‌های گیاهانی مانند کاکتوس و حشرات مانند سوسک صحرایی و ابریشم عنکبوت استفاده شده است. این مطالعات به توسعهٔ روش‌های بیومیمتیک برای بهبود ساختار سطح مواد منجر شده و در مکان‌هایی مانند عمان و فلسطین، سنت‌های جمع‌آوری آب از مه وجود دارد.

از آنجا که مه اساس این فناوری است، مقدمه‌ای از مبنای آن در این بخش و در بخش بعدی به شناخت کامل آن پرداخته می‌شود. آب جوّی (بدون توجه به شرایط جغرافیایی و هیدرولوژیکی) به شکل ابر، مه و بخار آب به عنوان یکی از منابع مهم آب شیرین پیشنهاد شده است. اتمسفر زمین آب را به شکل قطرات آب یا بخار (که تا حدود ۱۰ درصد از منابع آب شیرین را تشکیل می‌دهد) در خود نگه می‌دارد. در هر زمان معین، آب موجود در هوا هفت برابر بیشتر (۱۳ تریلیون متر مکعب) از کل آب شیرین رودخانه‌ها و دریاچه‌ها است [۳۸]. بنابراین، FWH می‌تواند یک رویکرد امیدوارکننده، قابل اعتماد و تأثیرگذار برای حل تنش آب حاد در حال حاضر و همچنین در آینده باشد. جمع‌آوری مه به عنوان منبع آب، برای نیازهای انسان سابقهٔ طولانی دارد. کمبود روزافزون جهانی و در دسترس نبودن آب آشامیدنی در بسیاری از مناطق پرجمعیت باعث افزایش هشدار می‌شود. این وضعیت به گسترش علاقه به روش‌های منحصربه‌فرد و نوآورانه جمع‌آوری آب حتی در مناطق صنعتی توسعه‌یافته منجر شده است. در برخی مناطق که مصرف و تقاضای انسانی کمتر از کشورهای صنعتی است، برداشت آب مه به منبع اصلی آب تبدیل شده است.

تخمین زده می‌شود که جو زمین حدود ۵۰ هزار کیلومتر مکعب آب شیرین را به شکل قطرات ریز آب و مه در خود جای داده است؛ علاوه بر این، چرخهٔ طبیعی هیدرولوژیکی، تأمین آب پایدار را امکان‌پذیر می‌کند [۳۹]. بنابراین، FWH به یک استراتژی مهم برای تولید آب در مناطقی از جهان تبدیل شده است.

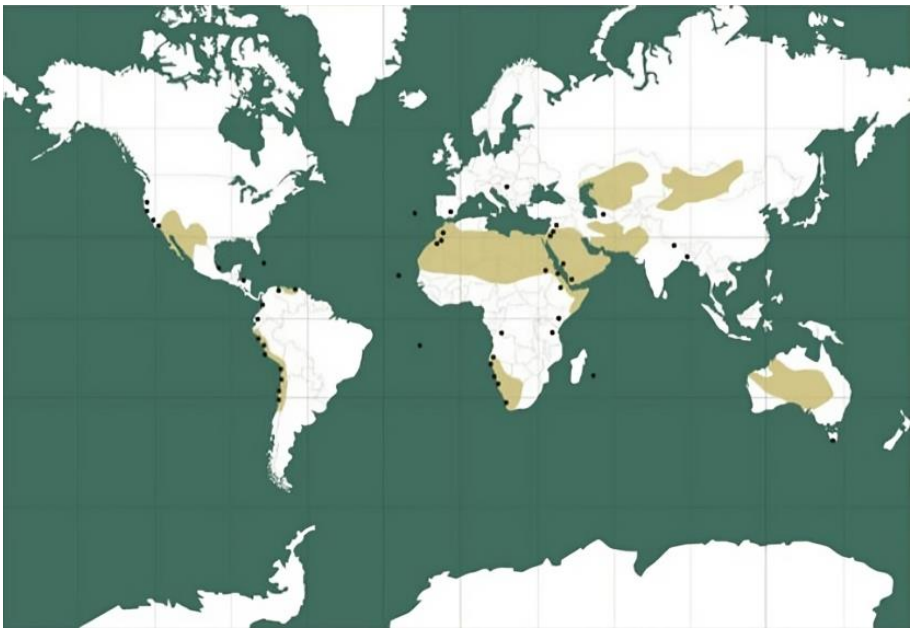
۳-۱-۳. برداشت آب از مه با توری جاذب مه

سه روش رایج برای تولید آب از هوای جوی وجود دارد.

1. Fog Water Harvesting (FWH)
2. Fog Water Collectors (FWC)
3. Cloud Seeding
4. Fog Mesh
5. Massive Dew Collector
6. Sorption-based AWG (solar distiller)
7. Condense

۱) کاهش دمای هوای مرطوب به زیر نقطهٔ شبنم.
۲) تجمع رطوبت از مه.
۳) استفاده از یک مادهٔ خشک‌کنندهٔ جامد یا مایع برای جذب بخار آب از هوای مرطوب، و سپس بازیابی آب استخراج‌شده با گرم کردن مادهٔ خشک‌کننده و متراکم کردن آب تبخیرشده. از طرفی، مشکل تأمین آب شیرین در مناطق خشک متکی بر شرایط اقلیمی را می‌توان با استفاده از یکی از شیوه‌های زیر حل کرد.
۱.حمل‌ونقل آب از مکان‌های دیگر.
۲.نمک‌زدایی آب شور.
۳.برداشت آب از هوای مه آلود.

حمل‌ونقل آب در این مکان‌ها معمولاً بسیار گران است و هزینهٔ اولیه قابل توجهی دارد. همچنین، نمک‌زدایی به وجود منابع آب شور بستگی دارد که در این مناطق غیر معمول و گران است، اما هوای جوی یک مخزن آب عظیم و پایان‌ناپذیر است. این منبع عظیم آب در هر نقطه از سطح سیاره در دسترس است. شکل ۶ پراکندگی جهانی مناطق مناسب استفاده از فناوری FWH را نشان می‌دهد؛ این شکل بر مبنای پروژه‌های عملی‌شده یا در دست اقدام برداشت آب از مه است.



شکل ٦. پراکندگی مناطق مناسب برای استفاده از فناوری FWH [۴۰]

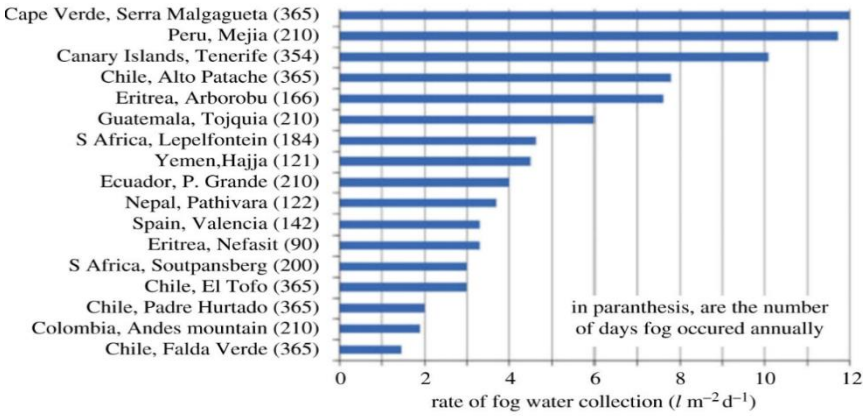
برای تشکیل مه، نیاز به هوای مرطوب و کاهش دما به زیر نقطهٔ شبنم است. شرایطی مانند دمای بالای نقطهٔ شبنم، رطوبت بالا و ارتفاع زیاد باعث شکل‌گیری مه می‌شوند. مه زمانی ایجاد می‌شود که غلظت بخار آب در جو به حد اشباع برسد و قطرات ریز آب معلق در هوا را تشکیل دهد. این پدیده بیشتر در شب‌های سرد، نزدیک به سطح زمین و در مناطق ساحلی مانند دریاچه‌ها یا اقیانوس‌ها مشاهده می‌شود. مه معمولاً می‌تواند تا ۷۵ کیلومتر در خشکی گسترش یابد. تفاوت مه و تنک‌مه در محل و تراکم آن‌هاست؛ مه به سطح زمین می‌رسد و غلیظ‌تر است، در حالی که تنک‌مه در ارتفاعات و بالای کوه‌ها قرار دارد و رقیق‌تر است. در سیستم‌های استحصال آب، جمع‌آوری قطرات آب موجود در مه توسط توری‌های خاص اهمیت زیادی دارد.

دو دانشمند برای اولین‌بار، استفاده از یک پارچهٔ دولایه با ضریب سایه ۳۵ درصدی و لایه‌های پلی‌پروپیلنی یک میلی‌متری راشل را به عنوان استاندارد جمع‌کنندهٔ مه (SFC)[1] پیشنهاد کردند که در یک قاب مسی استاندارد نصب شده است. استانداردسازی، تجزیه‌وتحلیل بازده کلی سیستم را تسهیل می‌کند. بازده کلی به عنوان لیتر آب مه جمع‌آوری‌شده توسط ۱ متر

1. Standard Fog Collector (SFC)

مربع توری در روز تعریف می‌شود. کارایی SFC و کلکتورهای بسیار بزرگ (۴۸ متر مربع) با افزایش قطر قطرات مه و افزایش سرعت باد افزایش می‌یابد [۸۰]. با اندازه‌های قطرات مه اندازه‌گیری‌شده با استفاده از پروب‌های طیف‌سنج سیستم‌های اندازه‌گیری ذرات[1] و محاسبات راندمان جمع‌آوری بر اساس معادلات لانگمویر و بلاجت [۴۲]، بازده کلی استحصال آب، ۲۰ درصد می‌شود. بازده جمع‌آوری در مرکز یک جمع‌کنندهٔ مه بزرگ زمانی که قطرات ۱۱ میکرومتر با سرعت باد ۳/۵ تا ۶/۵ متر بر ثانیه حرکت می‌کنند، به بالاترین مقدار یعنی ۶۶ درصد می‌رسد. به منظور جمع‌آوری مؤثر مه، توری باید به قطرات آب با قطر ۱ تا ۵۰ میکرومتر اجازه عبور دهد و در عین حال سطح کافی را برای برخورد و چسبیدن قطرات مه فراهم کند. در سرعت‌های باد کمتر، قطرات کوچک‌تر تمایل به دنبال کردن خطوط جریان هوا دارند و از اطراف الیاف توری که پهن‌تر هستند عبور می‌کنند. با افزایش سرعت باد یا اندازهٔ قطرات، اینرسی بیشتر قطرات، تمایل آن‌ها به برخورد با الیاف مش را افزایش می‌دهد. به طور مشابه، همان‌طور که الیاف مش باریک‌تر می‌شوند، قطرات مه معلق در هوا که توسط باد به سمت الیاف هدایت می‌شوند، از خطوط جریان باد کمتر پیروی می‌کنند و احتمال برخورد آن‌ها با الیاف مش بیشتر است. گزارش‌های زیاد و معتبری برای روزهای مه‌آلود مناطق مختلف جهان وجود ندارد. شکل ۷ تعداد روزهای مه‌آلود سالانه مناطق مختلف و همچنین، نرخ آب استحصال‌شده از مه در آن مناطق را نشان می‌دهد [۴۳].

نرخ آب جمع‌آوری‌شده از ۱/۵ تا ۱۲ لیتر به ازای یک متر مربع در روز متغیر است. میزان جمع‌آوری آب به عوامل محیطی مختلفی از جمله تفاوت بین دمای هوا و دمای نقطه شبنم، سرعت باد، جهت باد و دمای زمین بستگی دارد [۴۳].



شکل ۷. نرخ استحصال آب از مه و تعداد روزهای مه سالانه در نقاط مختلف بیابانی [۴۳]

استحصال آب از مه با استفاده از توری مشبک[2]، یک سیستم غیرفعال، کم‌هزینه و پایدار است که می‌تواند آب آشامیدنی را برای مناطقی که شرایط مه دارند تأمین کند. این فناوری در بیش از ۲۰ کشور در شش قاره مطالعه شده و معمولاً در مناطقی که مه زیادی دارند، به کار می‌رود. برداشت آب از مه زمانی مفید است که سایر منابع آب کمیاب باشند. اگرچه این فناوری ظرفیت بالایی برای استخراج آب از جو دارد، تنها تعداد کمی از سیستم‌های FWH به صورت تجاری در حال استفاده هستند. برای اینکه یک سیستم FWH پایدار باشد، باید چهار معیار کلیدی کارایی، هزینهٔ کم، پایداری و چرخه‌پذیری را برآورده کند، اما در حال حاضر هیچ سیستم استحصال آب مه این چهار معیار را به طور کامل ندارد. این فناوری به‌ویژه برای جوامعی که بارندگی کمی دارند و مه کافی در دسترس است، پتانسیل زیادی دارد. در این سیستم، توری‌ها به عنوان سطح جمع‌آوری مه عمل کرده و قطرات آب توسط نیروی گرانش به کانال‌های جمع‌آوری منتقل می‌شوند. با این‌حال، پیش‌بینی میزان جمع‌آوری آب مشکل است، که به دلیل فقدان استانداردهای دقیق در اندازه‌گیری و گزارش داده‌ها است.

برداشت آب از مه پتانسیل زیادی برای تأمین آب شیرین در جوامعی با بارندگی کم و مه قابل قبول دارد. این فناوری ساده

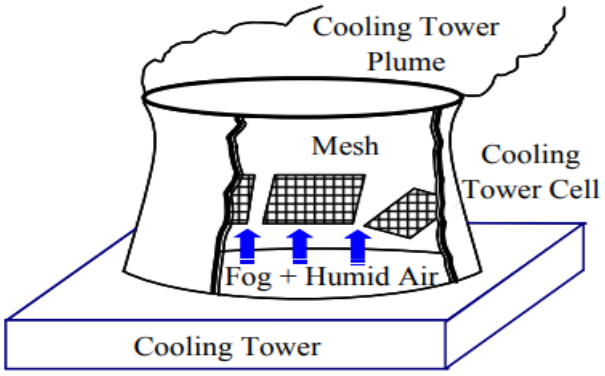
1. Forward Scattering Spectrometer Probes
2. Mesh Nets

شامل یک توری متخلخل است که در معرض مه قرار می‌گیرد و قطرات آب جمع‌آوری‌شده توسط نیروی گرانش به کانال‌های جمع‌آوری منتقل می‌شود. با وجود کارایی و پایداری این روش، پیش‌بینی میزان جمع‌آوری آب مشکل است به دلیل نبود استانداردهای دقیق در اندازه‌گیری و گزارش داده‌ها.

۳-۲. بررسی مطالعات منتخب

از سال ۱۹۶۰ میلادی که ایدهٔ برداشت آب از رطوبت هوا توسط محققان مطرح شد تا به امروز، مطالعات زیادی در خصوص روش‌های متفاوت انجام این کار به صورت تئوری، تجربی و مروری انجام گرفته است. در ادامه مطالعات منتخب که در این زمینه انجام شده به‌ترتیب سال انتشار، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در مطالعهٔ تجربی گوش[1] و همکاران، امکانات جذب مه از برج‌های خنک‌کنندهٔ صنعتی (CT)[2] در یک نیروگاه حرارتی بررسی شد. CT یکی از منابع اصلی تلفات آب صنعتی است. مطالعهٔ یادشده نشان می‌دهد با استفاده از استراتژی برداشت مه پیشنهادی می‌توان به بازیابی حدود ۴۰ درصد آب که به میزان صرفه‌جویی حدود ۱۰/۵ متر مکعب آب در ساعت از یک واحد ۵۰۰ مگاواتی می‌رسد، دست یافت. نتایج، پایه‌های طراحی را برای سیستم‌های جمع‌آوری مه در مقیاس کامل ارائه می‌دهد که می‌توانند در برج‌های خنک‌کنندهٔ نیروگاه و طیف گسترده‌ای از دیگر مولدهای مه مصنوعی مستقر شوند. شکل ۸ طرحی از قرارگیری سیستم توری‌های جاذب مه در CT را در این پژوهش نشان می‌دهد [۴۴].



شکل ۸. سیستم توری‌های جاذب مه CT در پژوهش گوش و همکاران [۴۴]

ریگالادو[3] و همکاران، به کارایی جمع‌آوری مجموعه‌های مختلف آبگیرهای مه‌گیر، عمدتاً سازه‌های مسطح و استوانه‌ای مجهز به چندین صفحه از رشته‌های تکان‌دهنده، با استفاده از معادلات پارامتری که هم تأثیرات ضربه‌ای و هم تأثیرات آیرودینامیکی را در نظر می‌گیرند، پرداختند. همچنین، مدل‌های مختلفی معرفی کردند که از نظر پیچیدگی و دامنهٔ کاربرد متفاوت هستند، و ممکن است برای تجزیه‌وتحلیل تأثیر هندسه، تعداد صفحه‌ها، فاصله و شیب رشته‌ها بر بازده آب مه کلکتور استفاده شوند [۴۵].

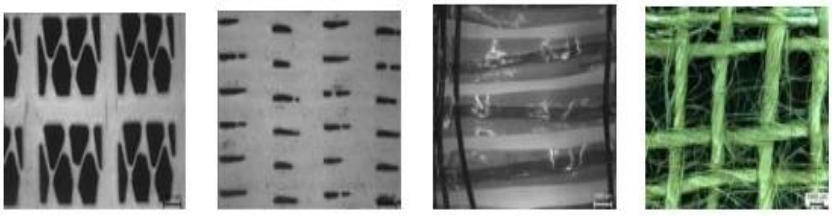
زهرا کریمی دستنائی و همکاران، از الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی مناطق با غلظت مه بالا استفاده کردند. چهار مدل، از جمله مدل خطی تعمیم‌یافته و مدل تقویت‌شدهٔ تعمیم‌یافته، دقت زیادی در نقشه‌برداری احتمال مه نشان دادند. متغیرهای اجتماعی در نظر گرفته شدند و نقشه‌های شاخص قابلیت برداشت مه آب[4] با ترکیب احتمال مه و تناسب ایجاد شد. نتایج، جنوب شرقی منطقه را به عنوان مناسب‌ترین منطقه برای برداشت آب مه مشخص کرد [۴۶].

1. Ghosh
2. Cooling Tower (CT)
3. Regalado
4. Fog-Water Harvesting Capability Index (FCI)

عظیم[1] و همکاران، با تمرکز بر یک رابطهٔ هندسی که به عنوان راندمان استحصال آیرودینامیکی[2] شناخته می‌شود، طرح‌هایی را برای جمع‌کننده‌های مه غیرفعال بهینه ارائه کردند. حداکثر راندمان تنها از طریق استفاده از کلکتورهای چندلایه‌ای به دست می‌آید که راندمان آن‌ها تا ۴۰ درصد از بهترین کلکتورهای تک‌لایه بیشتر است. این طرح می‌تواند تا ۴ برابر آنچه توسط مش دو لایه استاندارد راشل جمع‌آوری شده است، جمع‌آوری کند [۴۷].

اودین[3] و همکاران با استفاده از مواد میکرو و نانو، یک توری به‌صرفه برای مصارف خانگی و کشاورزی که دارای دو قسمت آب‌دوست و آب‌گریز بود، ساختند. بخش آب‌دوست سبب تشکیل قطرات آب، و بخش آب‌گریز سبب چکه کردن قطرات آب تشکیل‌شده به مخزن جمع آوری می‌شد که در نهایت به نرخ استحصال روزانه تقریباً ۱/۵ لیتر به ازای هر مترمربع از توری رسیدند [۴۸].

هدبا[4] و همکاران به ارزیابی عملی و نظری روزنه‌های برداشت مه موجود به منظور مشخص کردن ویژگی‌های اقتصادی و فیزیکی آن‌ها پرداختند. اطلاعاتی در مورد توانایی مش‌های مختلف برای انجام در شرایط مختلف که قرار است به یک ساختار تهویهٔ محیطی برای فضاهای بیرونی اضافه شود، ارائه کردند. روزنه‌های مش مختلفی که مورد مطالعه و آزمایش قرار دادند در شکل ۹ نمایش داده شده است [۴۹].



شکل ۹. مش‌هایی با ابعاد روزنه متفاوت در پژوهش هدبا و همکاران [۴۹]

کناپچیک کورکزاک[5] و همکاران با ترکیب الیاف پلی وینیلیدین فلوراید[6] برق‌ریسی شده، راندمان جمع‌آوری آب مش تجاری راشل را بیش از ۳۰۰ درصد بهبود دادند. یک سیستم نسبتاً ساده برای پیاده‌سازی و ارزان‌قیمت که روی راه‌حل‌های از قبل اعمال‌شده ساخته شده و قابلیت‌های طرح‌های موجود را گسترش می‌دهد نیز پیشنهاد دادند [۵۰].

چنگ[7] و همکاران با توجه به مشکل انسداد آسان مش‌های سنتی جمع‌آوری مه، از ساختار برس‌های مه‌گیر برای جلوگیری از مشکل به طور مؤثر استفاده کردند. علاوه بر این، بیشتر پوشش‌های اصلاح‌شده روی مواد جمع‌آوری مه حاوی فلوروسیلان هستند که گران، مضر و برای استفادهٔ طولانی‌مدت ناپایدار است [۵۱].

لی[8] و همکاران به عنوان یک استراتژی مؤثر برای کاهش کمبود آب جهانی، از غشای ژانوس[9] به طور گسترده برای برداشت قطرات مه استفاده کردند. با این‌حال، غشای ژانوس بسیار حساس به جهت جریان مه است که به طور پویا در طبیعت تغییر می‌کند. در این کار، یک جمع‌کنندهٔ مه سه‌لایهٔ ساندویچی متشکل از یک مش داخلی آب‌دوست و دو مش بیرونی فوق آب‌گریز ایجاد شده است تا یک مجموعه مه پایدار و کارآمد مستقل از جهت جریان مه را فعال کند. این طراحی تجربی جدید دستاوردهای خوبی به همراه داشت [۵۲].

مونکوئه[10] و همکاران پی بردند که راه جذب آب از مه، با استفاده از شبکه‌هایی است که جمع‌کننده‌های مه نامیده می‌شوند

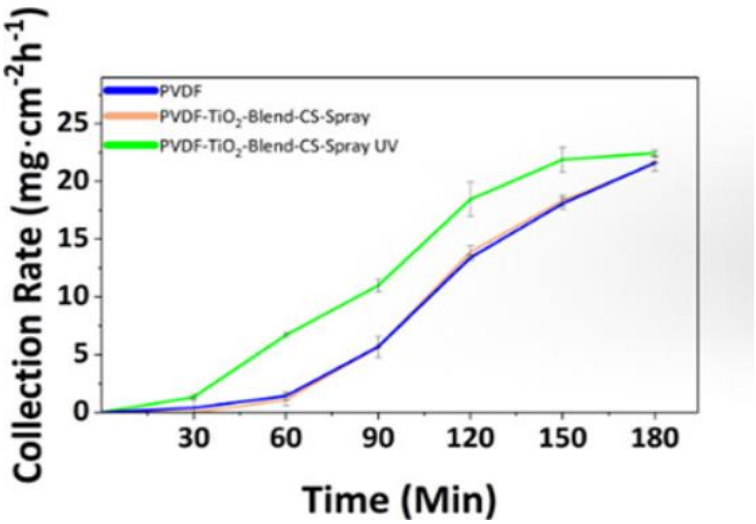
1. Azeem
2. Aerodynamic Collection Efficiency (ACE)
3. Uddin
4. Hadba
5. Knapczyk-Korczak
6. Electrospun Polyvinylidene Fluoride
7. Cheng
8. Li
9. Janus Membrane
10. Moncuquet

که این یک تکنیک امیدوارکننده برای تأمین آب شیرین در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. در این مطالعه، کارایی جذب مه‌گیرهای چنگک‌مانند متشکل از الیاف عمودی مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش‌های مقیاس آزمایشگاهی کنترل‌شده‌ای روی کلکتورهای مه مدل انجام و یک مدل نظری پیش‌بینی‌کننده برای توزیع مایع روی الیاف و اثرات آیرودینامیکی ایجاد و نتیجهٔ خوبی بین مدل نظری و نتایج تجربی به دست آمد [۵۳].

کواس[1] و همکاران مروری بر ادبیات سیستم‌های استحصال آب مبتنی بر جذب از دیدگاه مواد جاذب، تجزیه‌وتحلیل عملکرد، نیازهای انرژی و پیکربندی‌های سیستم ارائه کردند. رفتار جذب و معیارهای انتخاب جاذب‌های اخیر، به‌ویژه چارچوب‌های فلزی–آلی (MOFs)، نیز مورد بحث قرار گرفته گرفت. علاوه بر این، یک تحلیل عملکرد تعمیم‌یافته برای بحث و تحلیل پارامترهای عملکرد و نیازهای انرژی برای این سیستم‌ها مبتنی بر جذب ارائه شده است [۵۴].

مطالعهٔ کاستلی[2] و همکاران با هدف ارزیابی اولیه پتانسیل جمع‌آوری مه در منطقه‌ای با یک تحلیل تجربی ۱ ساله است که از طریق جمع‌کننده‌های مه ۱ متر مربعی در ۱۰ مکان مختلف انجام شده است. یک سیستم آبیاری با آب مه طراحی شده است که آب را برای یک مزرعهٔ نظری استاندارد با چهار محصول محلی (ذرت، لوبیا سبز، سیب زمینی و گوجه فرنگی) در فصل خشک فراهم می‌کند. این مقاله نشان می‌دهد سالانه به طور متوسط می‌توان ۶/۰۱ لیتر بر مترمربع آب از رطوبت در روز، تا ماکزیمم ۸/۹۳ لیتر بر مترمربع در روز، استحصال کرد [۵۵].

پاریسی[3] و همکاران با استفاده از مش‌های پلی‌وینیلیدین فلوراید برق‌ریسی[4] شده که ترشوندگی آن‌ها با افزودن TiO_2 کنترل می‌شود، عملکرد جمع‌آوری آب مه در رطوبت بالا و پایین را مورد مطالعه قرار دادند و یافتند که مش‌ها پس از تابش اشعهٔ ماوراء بنفش در نرخ‌های مه پایین‌تر، ۲۰۰ میلی‌لیتر در ساعت مؤثرتر بودند. عملکرد سه نوع مش بعد از ۶۰ دقیقه در مقابل نرخ پایین مه در شکل ۱۰ آورده شده است که مش تحت تابش اشعه بهترین عملکرد را دارد [۵۶].



شکل ۱۰. میزان نرخ استحصال سه مدل توری در گذر زمان در پژوهش پاریسی و همکاران [۵۶]

الشناوی[5] و همکاران نوعی تکنیک ریاضی ساده برای محاسبهٔ ضریب سایه مش‌های مختلف مورد استفاده در برداشت مه و برآورد تقریبی از حجم مش و هزینه ارائه کردند. از پنج هندسهٔ جایگزین استفاده شد: مش مستطیل، مش مربع، مش راشل، مش مثلثی و مش شش‌ضلعی. روش سادهٔ فعلی طراحی جمع‌کنندهٔ مش مه را تسهیل می‌کند و می‌تواند به دستیابی به ضریب سایه ایده‌آل و مؤثرترین هندسه مش برای برداشت مه کمک کند. مش‌های مستطیلی به عنوان نمونه برای ارزیابی نتایج استفاده شد و

1. Cuevas
2. Castelli
3. Parisi
4. Electrospinning
5. Elshennawy

با فولاد ضد زنگ با ضرایب سایه مختلف برای جمع‌آوری مه آزمایش شدند و مقدار آب جمع‌آوری‌شده توسط هر مش متفاوت شد. نتیجه‌گیری شد که ضریب سایه بهینه برای جمع‌آوری مه بین ۵۰ تا ۶۰ درصد است [۵۷].

موسی[1] و همکاران یک مدل هوش مصنوعی با متغیرهای میانگین دمای روزانه، رطوبت نسبی و سرعت باد به عنوان ورودی با ۲۰ نورون برای یک طرح استوانه‌ای‌شکل توری توسعه دادند و نتایج معتبری حاصل شد که می‌تواند تلاش‌های تحقیقاتی آینده را هدایت کند و ارزیابی امکان‌سنجی جمع‌آوری آب مه را افزایش دهد [۵۸].

لی[2] و همکاران نوعی روش نوین برداشت مه با جفت کردن مواد پلاسما و میکرونانو پیشنهاد کردند که می‌تواند ۹۳ درصد راندمان جمع‌آوری مه به دست آورد. روش اصلی استفاده از نانوذرات برای پوشش هر دو الکترود تخلیه و الکترود جمع‌آوری جمع‌کنندهٔ مه الکترواستاتیک میکرونانو است. برای الکترود تخلیه، نانوذرات می‌توانند یک‌مرتبه به قدرت میدان الکتریکی بالاتر و کاهش در ولتاژ کاری دست یابند. برای الکترود جمع‌آوری، یک ساختار ترکیبی جدید از آب‌گریز/آب‌دوست[3] (HB/HL) پیشنهاد شده است. مزیت اصلی این است که انتقال قطرات جهت‌دار در محل اتصال HB و HL ناشی از کشش سطحی می‌تواند قطرات انباشته‌شده را در دو طرف تنظیم کند، که از باقی‌ماندهٔ قطرات و انسداد مش در ساختار کلی جلوگیری می‌کند. این فناوری نوعی رویکرد نوآورانه برای جمع‌آوری ریز قطرات و یک ایدهٔ طراحی جدید برای جمع‌کنندهٔ مه به منظور مقابله با بحران آب ارائه می‌دهد [۵۹].

محققان با الهام از طبیعت، مواد جدید و با کارایی بالایی برای برداشت آب ایجاد کرده‌اند که می‌تواند به طور مؤثری مشکلات کمبود آب را برطرف کند. اووارانی و بیهورا[4]، با تجزیه‌وتحلیل عمیق ترشوندگی و انتقال قطرات آب این موجودات در طبیعت، سطوح بیونیک جدیدی که طبیعت و خواص مطلوب را با هم ترکیب می‌کنند، از طریق تکنیک‌های ساخت و جفت‌سازی نوآورانه توسعه دادند که می‌تواند ۲/۵ تا ۵/۳ برابر برداشت کارآمدتر آب نسبت به سطوح فوق آب‌گریز و فوق آب‌دوست معمولی داشته باشد. با ادغام مورفولوژی‌های مختلف مانند سوسک صحرا، کاکتوس و ژانوس، مقدار کارایی ۲۵۰ تا ۶۰۰ درصد در مقایسه با سطوح مورفولوژی یکنواخت فردی آن‌ها افزایش یافت. این بررسی همچنین چالش‌های فعلی و زمینهٔ توسعهٔ آینده در مواد برداشت آب را ارائه می‌کند [۶۰].

فو[5] و همکاران یافتند که مواد فلزی بر اساس ترشوندگی و ساختار خاص به روشی مؤثر برای جمع‌آوری مه تبدیل شده‌اند. با این‌حال، بهبود بیشتر راندمان جمع‌آوری آب با طراحی دقیق ترشوندگی و ساختار ویژهٔ مواد، هنوز یک مشکل است. بنابراین، پیشنهاد کردند که از گرادیان دما برای افزایش جمع‌آوری مه در سطح فلز استفاده شود. مکانیسم افزایش گرادیان دما، کارایی جمع‌آوری مه را تا ۵۴ درصد بهبود می‌بخشد. اندازه‌گیری‌های پراکندگی بیشتر نشان می‌دهد زمان جذب ذرات مه در سطح خنک‌کننده کم حدود ۴۰ درصد کوتاه می‌شود. بر اساس تئوری انتقال حرارت و ترموفورز[6]، گرادیان دمای اطراف فلز و رفتار ذرات مه مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد و به این نتیجه می‌رسد که افزایش عملکرد جمع‌آوری مه روی سطح فلز می‌تواند ناشی از گرادیان دمایی ناشی از گرماساز باشد [۶۱].

لی و همکارانش یک ساختار گوه‌ای زیست‌تقلید سه‌بعدی با الهام از برگ‌های گیاه آراوکاریا هتروفیلا توسعه دادند. این ساختار که برای برداشت آب بهینه شده است، ۱۱/۴۸ برابر بیشتر از صفحات مسطح آب جمع‌آوری می‌کند، در شرایط سخت کارآمد باقی می‌ماند و منبع آب پایداری را برای کشاورزی و مصارف خانگی در مناطق خشک فراهم می‌کند [۶۲]. زارعی و همکارانش یک سطح آلومینیومی الهام‌گرفته از طبیعت با الگوهای ناهموار از طریق چاپ سه‌بعدی و نانوپوشش برای افزایش برداشت آب جوی توسعه دادند. سطح اصلاح‌شده، رشد و تحرک قطرات را بهبود بخشید و در برداشت مه به ۳۰۵۵ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع بر ساعت رسید که پتانسیل بالایی را برای جمع‌آوری پایدار آب در محیط‌های متنوع نشان می‌دهد [۶۳].

1. Mosa
2. Li
3. Hydrophobic/Hydrophilic
4. Uvarani and Behura
5. Fu
6. Thermophoresis

پس از بررسی مطالعات منتخب، جدول ۵ مروری بر مطالعات منتخب در زمینهٔ برداشت آب از مه با استفاده از توری‌ها ارائه می‌دهد. هر مطالعه بر هدف، روش کار، یافته‌ها و تمرکز بر هندسه یا جنس توری تمرکز دارد.

جدول ۵. مرور مطالعات منتخب در زمینهٔ برداشت آب از مه با توری‌ها

منابع	هدف مطالعه	روش کار	یافته‌ها	تمرکز مطالعه
[۴۴]	بررسی امکانات جذب مه از برج‌های خنک‌کنندهٔ صنعتی	مطالعهٔ تجربی روی CT	بازیابی حدود ۴۰ درصد آب، صرفه‌جویی ۱۰/۵ متر مکعب در ساعت؛ پایه طراحی سیستم جمع‌آوری مه در مقیاس کامل	هندسه
[۴۵]	کارایی جمع‌آوری مجموعه‌های مختلف آبگیرهای مه‌گیر	معادلات پارامتری، بررسی هندسه، تعداد صفحه‌ها، فاصله و شیب رشته‌ها	مدل‌های مختلف برای تحلیل پارامترهای هندسی	هندسه
[۴۶]	پیش‌بینی مناطق با غلظت مه بالا	الگوریتم‌های هوش مصنوعی	جنوب شرقی منطقه مناسب‌ترین منطقه برای برداشت آب مه	-
[۴۷]	طراحی کلکتورهای مه غیرفعال بهینه	تمرکز بر راندمان آیرودینامیکی، طراحی کلکتور چند لایه	حداکثر راندمان تا ۴۰ درصد بالاتر از کلکتورهای تک‌لایه	هندسه
[۴۸]	توری به‌صرفه خانگی و کشاورزی	مواد میکرو و نانو، دو قسمت آب‌دوست و آب‌گریز	نرخ استحصال روزانه ۱/۵ لیتر بر m^2	جنس
[۴۹]	ارزیابی عملی و نظری روزنه‌های برداشت مه	آزمایش مش‌های مختلف با ابعاد روزنه متفاوت	ارائهٔ ویژگی‌های اقتصادی و فیزیکی روزنه‌ها	هندسه
[۵۰]	بهبود راندمان مش تجاری راشل	ترکیب الیاف PVDF برق‌ریسی شده	افزایش راندمان بیش از ۳۰۰ درصد؛ سیستم ساده و ارزان	جنس
[۵۱]	حل مشکل انسداد مش‌های سنتی	ساختار برس‌های مه‌گیر، پوشش فلوروسیلان	انسداد کاهش یافت؛ پوشش‌ها پایدار نبودند	هندسه و جنس
[۵۲]	استراتژی کاهش کمبود آب جهانی	جمع‌کنندهٔ مه سه‌لایهٔ ساندویچی، مش داخلی آب‌دوست، مش بیرونی آب‌گریز	دستاوردهای تجربی خوب برای جمع‌آوری پایدار مه	هندسه و جنس
[۵۳]	بررسی کارایی کلکتورهای چنگک	آزمایش مقیاس آزمایشگاهی، مدل نظری	هماهنگی خوب بین مدل نظری و نتایج تجربی	هندسه
[۵۴]	مروری بر سیستم‌های استحصال آب مبتنی بر جذب	تحلیل مواد جاذب، عملکرد، نیاز انرژی	تحلیل تعمیم‌یافته پارامترهای عملکرد و نیازهای انرژی	جنس
[۵۵]	ارزیابی پتانسیل جمع‌آوری مه یک‌ساله	تحلیل تجربی یک‌ساله با جمع‌کننده‌های ۱ m^2 در ۱۰ مکان	آب مه متوسط ۶.۰۱ تا حداکثر ۸.۹۳ لیتر/m^2/روز؛ طراحی سیستم آبیاری مزرعه نمونه	هندسه
[۵۶]	عملکرد مش‌های PVDF تحت UV	تابش UV، مطالعهٔ عملکرد در رطوبت بالا و پایین	مش تحت تابش مؤثرتر؛ ۲۰۰ میلی‌لیتر h/ نرخ مه پایین‌تر	جنس
[۵۷]	محاسبهٔ ضریب سایه مش‌ها	روش ریاضی ساده برای پنج هندسه مش	ضریب سایه بهینه ۵۰–۶۰٪؛ اختلاف جمع‌آوری آب بین مش‌ها	هندسه
[۵۸]	مدل هوش مصنوعی برای جمع‌آوری مه	مدل با دما، رطوبت، باد و ۲۰ نورون	نتایج معتبر؛ افزایش امکان‌سنجی جمع‌آوری آب مه	-
[۵۹]	برداشت مه با مواد پلاسما و میکرو نانو	پوشش نانوذرات روی الکترود تخلیه و جمع‌آوری، ساختارHB/HL	راندمان جمع‌آوری مه ۹۳٪؛ جلوگیری از انسداد مش	جنس
[۶۰]	مواد جدید بیونیک برای برداشت آب	ترکیب مورفولوژی موجودات طبیعی	کارایی برداشت ۲.۵–۳.۵ برابر بیشتر؛ افزایش ۲۵۰–۶۰۰٪	جنس
[۶۱]	مواد فلزی با گرادیان دما	تحلیل ترشوندگی و ترموفورز	بهبود عملکرد تا ۵۴٪؛ کاهش زمان جذب ذرات مه ۴۰٪	جنس
[۶۲]	ساختار گوه‌ای زیست تقلید سه‌بعدی	الهام از برگ‌های Araucaria heterophylla	جمع‌آوری ۱۱.۴۸ برابر بیشتر؛ منبع پایدار آب	هندسه و جنس
[۶۳]	سطح آلومینیومی با چاپ سه‌بعدی و نانوپوشش	چاپ سه بعدی و نانوپوشش	رشد و تحرک قطرات بهبود یافته؛ برداشت mg/m^2/h۳۰۵۵	هندسه و جنس

با بررسی مطالعات اخیر در زمینهٔ جمع‌آوری مه، چند خلأ و گپ پژوهشی آشکار می‌شود. بیشتر مطالعات اولیه عمدتاً روی هندسهٔ توری‌ها و شکل کلکتورهای مه تمرکز داشتند تا افزایش راندمان جمع‌آوری، در حالی که مطالعه‌هایی که روی جنس مواد و بهبود ترشوندگی یا نانوپوشش‌ها تمرکز داشتند، محدود بوده و معمولاً هندسه را هم‌زمان بررسی نکرده‌اند. بنابراین، طراحی هم‌زمان و سیستماتیک هندسه و جنس کلکتورها هنوز به طور جامع بررسی نشده است. همچنین تنها تعداد کمی از مطالعات به مناطق مناسب برداشت مه و تحلیل مکانی توجه داشته‌اند و نقشه‌های پتانسیل مه و مدل‌های پیش‌بینی با داده‌های اقلیمی واقعی، به‌ویژه در مقیاس ملی یا منطقه‌ای، هنوز جای توسعه دارند. بیشتر آزمایش‌ها در مقیاس آزمایشگاهی یا یک‌ساله انجام شده و داده‌های بلندمدت یا آزمایش‌ها در شرایط عملی واقعی که شامل تغییرات فصلی، سرعت باد و جهت جریان مه باشد، محدود است. مطالعات اخیر به مواد نانو، بیونیک و ساختارهای زیست‌تقلید توجه دارند، اما بررسی‌های سیستماتیک روی دوام طولانی‌مدت، هزینه و قابلیت مقیاس‌پذیری این مواد هنوز کم است. در زمینهٔ مدل‌سازی و هوش مصنوعی نیز تنها تعداد محدودی از مطالعات به پیش‌بینی عملکرد کلکتورها پرداخته‌اند و استفادهٔ گسترده از یادگیری ماشین و شبیه‌سازی‌های دینامیک سیالات برای پیش‌بینی عملکرد واقعی هنوز جا برای توسعه دارد.

با گذر زمان، تمرکز مطالعات تغییر کرده است. در مطالعات اولیه، تمرکز اصلی روی هندسهٔ کلکتورها و بهبود راندمان ساده بود و روش‌ها بیشتر تجربی و پارامتری بودند. در مطالعات میانی، ترکیبی از بررسی هندسه و جنس مواد مشاهده می‌شود و مدل‌های ساده به کار گرفته شده‌اند، در حالی که استفاده از مش‌های جدید و تحلیل ترشوندگی نیز مطرح شد. در مطالعات اخیر، گرایش قوی به مواد نوین، طراحی‌های زیست‌تقلید، ساختارهای سه‌بعدی و فناوری نانو مشاهده می‌شود و هوش مصنوعی و مدل‌سازی پیش‌بینی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، روند مطالعات نشان می‌دهد جامعهٔ علمی از تحلیل‌های تجربی ساده به سمت استفاده از فناوری‌های نوین و مواد پیشرفته برای افزایش راندمان و قابلیت مقیاس‌پذیری در شرایط واقعی حرکت کرده است.

مطابق شکل ۱۱، مطالعات قدیمی‌تر بیشتر روی طراحی هندسهٔ توری‌ها و بهبود راندمان مکانیکی تمرکز داشتند، در حالی که مطالعات جدیدتر به سمت استفاده از مواد نوین، زیست‌تقلید و فناوری‌های هوش مصنوعی برای افزایش کارایی و پایداری برداشت آب مه گرایش یافته‌اند.

شکل ۱۱. تحول تمرکز مطالعات جمع‌آوری مه

بر اساس مطالعات مرورشده، سیستم‌های جمع‌آوری آب مه غیرفعال (passive)، بسته به راندمان طراحی و سطح پوشش، می‌توانند از حدود ۱/۵ لیتر/m^2/روز تا بیش از ۱۰ لیتر/m^2/روز آب برداشت کنند. اگر این روش در مقیاس شهری به کار رود، به‌خصوص برای شهرهایی با منابع محدود آب و مصرف بالای انرژی برای شیرین‌سازی و انتقال آب، نقش قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی خواهد داشت.

به طور مثال، فرض کنید یک شهر متوسط با جمعیت یک میلیون نفر و مصرف آب ۲۰۰ لیتر/نفر/روز داشته باشد. برداشت غیرفعال مه با راندمان متوسط ۵ لیتر/m^2/روز و استفاده از سطح کل توری‌های جمع‌آوری به اندازهٔ ۵ کیلومتر مربع، می‌تواند حدود ۲۵ میلیون لیتر آب در روز تأمین کند. این میزان برابر با ۱۲/۵ درصد از مصرف روزانهٔ شهر است. با جایگزینی این بخش از آب، نیاز به پمپاژ، تصفیه و انتقال آب کاهش می‌یابد که به صورت مستقیم باعث صرفه‌جویی قابل توجه انرژی شهری خواهد شد.

به بیان ساده‌تر، استفادهٔ گسترده از سیستم‌های غیرفعال می‌تواند به عنوان راهکار مکمل پایدار برای کاهش بار انرژی و اتکای شهری به منابع آب انرژی‌بر عمل کند، به‌ویژه در مناطقی که انرژی و آب هر دو محدود هستند.

به طور کلی در حوزهٔ تأمین پایدار آب، پژوهش‌ها نشان می‌دهد این مسئله تنها محدود به روش‌های برداشت مستقیم نیست و ارتباط نزدیکی با مدیریت انرژی و تحلیل رفتار سیالات دارد. مطالعاتی در زمینهٔ ذخیره‌سازی انرژی حرارتی، تأمین آب گرم با سامانه‌های خورشیدی و همچنین، کاربرد هوش مصنوعی در پیش‌بینی تبخیر، میعان و دینامیک بخار آب و همچنین، سیستم‌های انرژی نشان می‌دهند نگاه چندرشته‌ای، مسیر اصلی توسعهٔ فناوری‌های نوین آب‌رسانی است [۶۴ ـ ۶۶]. توجه به بعد دیگر این فناوری‌ها، از تولید آب شیرین گرفته تا سیستم‌های انرژی و حتی حمل‌ونقل آن می‌تواند به توسعهٔ پایدار منجر شود و اثرات زیست‌محیطی با تمرکز بیشتری به بخش فنی اضافه شود [۶۷ و ۶۸]. این رویکرد در نهایت بستر مناسبی برای بهبود کارایی روش‌هایی مانند جمع‌آوری مه فراهم می‌کند.

۴. نتیجه‌گیری

این مطالعه به بررسی سیستم‌های جمع‌آوری آب مه و نقش آن‌ها در تأمین پایدار آب و کاهش مصرف انرژی پرداخت. با توجه به محدودیت منابع آب و افزایش تقاضا، استفاده از فناوری‌های کم‌مصرف و مبتنی بر انرژی طبیعی اهمیت یافته است. مرور مطالعات گذشته نشان می‌دهد پژوهش‌های اولیه عمدتاً بر هندسهٔ توری‌ها و شکل کلکتورها تمرکز داشتند تا راندمان جمع‌آوری افزایش یابد، در حالی که بررسی جنس مواد، ترشوندگی و نانوپوشش‌ها محدود بوده و معمولاً هندسه را هم‌زمان در نظر نگرفته‌اند. طراحی هم‌زمان هندسه و جنس کلکتورها هنوز به طور جامع بررسی نشده است. همچنین، تنها تعداد کمی از مطالعات، تحلیل مکانی و شناسایی مناطق مناسب برداشت مه با استفاده از داده‌های اقلیمی واقعی را مورد توجه قرار داده‌اند و آزمایش‌های بلندمدت یا عملی واقعی محدود است.

با گذر زمان، تمرکز پژوهش‌ها تغییر کرده و مطالعات اخیر گرایش به مواد نوین، طراحی‌های زیست‌تقلید، ساختارهای سه‌بعدی و فناوری نانو دارند. استفاده از هوش مصنوعی و مدل‌سازی پیش‌بینی عملکرد کلکتورها نیز افزایش یافته است، اما بررسی سیستماتیک دوام طولانی‌مدت، هزینه و قابلیت مقیاس‌پذیری این روش‌ها هنوز جای توسعه دارد. روند مطالعات نشان می‌دهد جامعهٔ علمی از تحلیل‌های تجربی ساده به سمت بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته و مدل‌های پیش‌بینی برای افزایش راندمان و کاربرد عملی حرکت کرده است.

مطالعات مرور شده نشان می‌دهند سیستم‌های غیرفعال جمع‌آوری مه، بسته به راندمان طراحی و سطح پوشش، می‌توانند بین ۱/۵ تا بیش از ۱۰ لیتر به ازای یک مترمربع توری در روز آب تولید کنند. به بیانی دیگر، تا ۱۲/۵ درصد از مصرف روزانه آب یک شهر با جمعیت متوسط ۱ میلیون نفر را می‌توانند تأمین کنند. استفاده از این فناوری نه‌تنها به کاهش وابستگی به منابع آب دیگر کمک می‌کند، بلکه به طور قابل توجهی مصرف انرژی مورد نیاز برای پمپاژ، تصفیه و انتقال آب را کاهش می‌دهد و صرفه‌جویی انرژی شهری قابل توجهی به همراه دارد. در مقیاس شهری، این مقدار می‌تواند بخش قابل توجهی از نیاز آب شهر را تأمین کرده و به کاهش مصرف انرژی مرتبط با تصفیه و انتقال آب کمک کند. بنابراین، جمع‌آوری آب مه، به‌ویژه در مناطق با محدودیت منابع آب و انرژی، به عنوان یک راهکار مکمل پایدار مطرح است و تحقیقات آینده باید بر طراحی سیستماتیک هندسه و مواد،

توسعهٔ مدل‌های پیش‌بینی و اجرای آزمایش‌های بلندمدت در شرایط واقعی تمرکز کند تا قابلیت مقیاس‌پذیری و پایداری آن افزایش یابد.

پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های آینده بر طراحی هم‌زمان هندسه و جنس مواد کلکتورها تمرکز کنند تا راندمان جمع‌آوری افزایش یابد. علاوه بر این، استفاده از داده‌های اقلیمی واقعی برای تحلیل مکانی و شناسایی مناطق مناسب برداشت مه باید گسترش یابد. همچنین، اجرای آزمایش‌های بلندمدت و بررسی دوام طولانی‌مدت، هزینه و مقیاس‌پذیری این فناوری‌ها در شرایط واقعی ضروری است.

منابع

1. Tang W, Pei Y, Zheng H, Zhao Y, Shu L, Zhang H. Twenty years of China's water pollution control: Experiences and challenges. Chemosphere. 2022 May 1;295:133875.
2. Rijsberman FR. Water scarcity: fact or fiction?. Agricultural water management. 2006 Feb 24;80(1-3):5-22.
3. Hoff H. Global water resources and their management. Current Opinion in Environmental Sustainability. 2009 Dec 1;1(2):141-7.
4. Lu J, Kong D, Zhang Y, Xie Y, Gu X, Gulakhmadov A. Hotspots of global water resource changes and their causes. Earth's Future. 2025 Feb;13(2):e2024EF005461.
5. Haddout S, Priya KL, Hoguane AM, Ljubenkov I. Water scarcity: A big challenge to slums in Africa to fight against COVID-19. Science & Technology Libraries. 2020 Jul 2;39(3):281-8.
6. Liyanage CP, Yamada K. Impact of population growth on the water quality of natural water bodies. Sustainability. 2017 Aug 9;9(8):1405.
7. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality: incorporating the first and second addenda. World Health Organization; 2022 Mar 31.
8. Water UN. Sustainable Development Goal 6 synthesis report on water and sanitation. Published by the United Nations New York, New York. 2018;10017.
9. Mohapatra SS, Arora M, Wu W, Tiwari MK. A Review of IUWM Approach to Address Urban Water Challenges Faced by a Developing Country. Water Resources Management. 2025 Mar 1:1-9.
10. Verbrugghe N, Khan AZ. Water harvesting through fog collectors: a review of conceptual, experimental and operational aspects. International Journal of Low-Carbon Technologies. 2023;18:392-403.
11. Domen JK, Stringfellow WT, Camarillo MK, Gulati S. Fog water as an alternative and sustainable water resource. Clean Technologies and Environmental Policy. 2014 Feb;16(2):235-49.
12. Olivier J. Fog-water harvesting along the West Coast of South Africa: A feasibility study. Water Sa. 2002;28(4):349-60.
13. Moaven M, Allahrabbi Shirazi M, Ghodusinejad MH. Systematic Analysis of the Impact of Life Cycle Assessment of Materials on Urban Heat Island Mitigation: A Path Toward Sustainable Urban Policy Using the PRISMA Method. Urban Development Policy Making. 2025 Apr 4;2(1):95-110.
14. Velmurugan A, Swarnam P, Subramani T, Meena B, Kaledhonkar MJ. Water demand and salinity. Desalination-challenges and opportunities. 2020 Jan 28;10.
15. Rajagopal R, Brands E, Wichman MD. Drinking Water. International encyclopedia of geography. US: John Wiley and Sons Ltd. 2016;10(978111878635):2.
16. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality. World health organization; 2004 Aug 31.
17. Mittal H, Kumar V, Alhassan SM, Ray SS. Modification of gum ghatti via grafting with acrylamide and analysis of its flocculation, adsorption, and biodegradation properties. International journal of biological macromolecules. 2018 Jul 15;114:283-94.
18. Kumar N, Mittal H, Parashar V, Ray SS, Ngila JC. Efficient removal of rhodamine 6G dye from aqueous solution using nickel sulphide incorporated polyacrylamide grafted gum karaya bionanocomposite hydrogel. RSC advances. 2016;6(26):21929-39.
19. Kumar N, Ray SS, Ngila JC. Ionic liquid-assisted synthesis of Ag/Ag 2 Te nanocrystals via a hydrothermal route for enhanced photocatalytic performance. New Journal of Chemistry. 2017;41(23):14618-26.
20. Mukwevho N, Fosso-Kankeu E, Waanders F, Kumar N, Ray SS, Yangkou Mbianda X. Photocatalytic activity of Gd2O2CO3· ZnO· CuO nanocomposite used for the degradation of phenanthrene. SN Applied Sciences. 2019 Jan;1(1):10.
21. Yang Z, Shan C, Zhang W, Jiang Z, Guan X, Pan B. Temporospatial evolution and removal mechanisms of As (V) and Se (VI) in ZVI column with H2O2 as corrosion accelerator. Water Research. 2016 Dec 1;106:461-9.

22. Gómez NS, Ballestero RM, Canese SE. Adaptándose a la escasez de agua en comunidades rurales del corredor seco centroamericano: análisis de costo-beneficio para mejorar la provisión de agua potable en la comunidad de Maraxco, Chiquimula, Guatemala. Aqua-LAC. 2017;9(2):85-101.
23. Kordbacheh F, Heidari G. Water pollutants and approaches for their removal. Materials Chemistry Horizons. 2023 May 1;2(2):139-53.
24. Liu W, Dai C, He L, Liu X, Zhao Z, Yan W, Yuan M, Song Z, Cui S. Biomass aerogel: An emerging eco-friendly material for adsorbing pollutants in water. Chemical Engineering Journal. 2025 Apr 22:162977.
25. Gadipelly C, Pérez-González A, Yadav GD, Ortiz I, Ibáñez R, Rathod VK, Marathe KV. Pharmaceutical industry wastewater: review of the technologies for water treatment and reuse. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2014 Jul 23;53(29):11571-92.
26. Gusain R, Kumar N, Ray SS. Recent advances in carbon nanomaterial-based adsorbents for water purification. Coordination Chemistry Reviews. 2020 Feb 15;405:213111.
27. Bieber S. Water treatment equipment for in-center hemodialysis. InHandbook of Dialysis Therapy 2023 Jan 1 (pp. 80-92). Elsevier.
28. Mazza D, Tarchi D, Juan AA. Advanced technologies in smart cities. Energies. 2022 Jun 29;15(13):4764.
29. Masłoń A, Czarnota J, Szaja A, Szulżyk-Cieplak J, Łagód G. The enhancement of energy efficiency in a wastewater treatment plant through sustainable biogas use: Case study from Poland. Energies. 2020 Nov 19;13(22):6056.
30. Martin DL, Dorn TW, Melvin SR, Corr AJ, Kranz WL. Evaluating energy use for pumping irrigation water.
31. Chini CM, Stillwell AS. The state of US urban water: data and the energy-water nexus. Water Resources Research. 2018 Mar;54(3):1796-811.
32. Zhou J, Reniers G. Petri net simulation of multi-department emergency response to avert domino effects in chemical industry accidents. Process Safety and Environmental Protection. 2021 Feb 1;146:916-26.
33. Karim MR, Naser J. Numerical modelling of solid biomass combustion: difficulties in initiating the fixed bed combustion. Energy Procedia. 2017 Mar 1;110:390-5.
34. Aladwani SH, Al-Obaidi MA, Mujtaba IM. Performance of reverse osmosis based desalination process using spiral wound membrane: Sensitivity study of operating parameters under variable seawater conditions. Cleaner Engineering and Technology. 2021 Dec 1;5:100284.
35. Barus T, Wati L, Suwanto A. Diversity of protease-producing Bacillus spp. from fresh Indonesian tempeh based on 16S rRNA gene sequence. HAYATI Journal of Biosciences. 2017 Jan 1;24(1):35-40.
36. Poudyal R, Loskot P, Nepal R, Parajuli R, Khadka SK. Mitigating the current energy crisis in Nepal with renewable energy sources. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2019 Dec 1;116:109388.
37. Longo S, Mauricio-Iglesias M, Soares A, Campo P, Fatone F, Eusebi AL, Akkersdijk E, Stefani L, Hospido A. ENERWATER–A standard method for assessing and improving the energy efficiency of wastewater treatment plants. Applied Energy. 2019 May 15;242:897-910.
38. Muhlfeld CC, Kovach RP, Jones LA, Al-Chokhachy R, Boyer MC, Leary RF, Lowe WH, Luikart G, Allendorf FW. Invasive hybridization in a threatened species is accelerated by climate change. Nature Climate Change. 2014 Jul;4(7):620-4.
39. Zhao F, Zhou X, Liu Y, Shi Y, Dai Y, Yu G. Super moisture-absorbent gels for all-weather atmospheric water harvesting. Advanced Materials. 2019 Mar;31(10):1806446.
40. Klemm O, Schemenauer RS, Lummerich A, Cereceda P, Marzol V, Corell D, Van Heerden J, Reinhard D, Gherezghiher T, Olivier J, Osses P. Fog as a fresh-water resource: overview and perspectives. Ambio. 2012 May;41(3):221-34.
41. Cereceda P, Schemenauer RS. The occurrence of fog in Chile. Journal of Applied Meteorology and Climatology. 1991 Aug;30(8):1097-105.
42. Langmuir I, Blodgett K. A mathematical investigation of water droplet trajectories. Army Air Forces Headquarters, Air Technical Service Command; 1946.

43. Lu W, Yuan H. Investigating waste reduction potential in the upstream processes of offshore prefabrication construction. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013 Dec 1;28:804-11.
44. Ghosh R, Ray TK, Ganguly R. Cooling tower fog harvesting in power plants–A pilot study. Energy. 2015 Sep 1;89:1018-28.
45. Regalado CM, Ritter A. The design of an optimal fog water collector: A theoretical analysis. Atmospheric Research. 2016 Sep 1;178:45-54.
46. Karimidastenaei Z, Haghighi AT, Rahmati O, Rasouli K, Rozbeh S, Pirnia A, Pradhan B, Kløve B. Fog-water harvesting Capability Index (FCI) mapping for a semi-humid catchment based on socio-environmental variables and using artificial intelligence algorithms. Science of The Total Environment. 2020 Mar 15;708:135115.
47. Preetha P, Bathi JR, Kumar M, Kode VR. Predictive Tools and Advances in Sustainable Water Resources Through Atmospheric Water Generation Under Changing Climate: A Review. Sustainability. 2025 Feb 11;17(4):1462.
48. Uddin MN, Desai FJ, Rahman MM, Asmatulu R. A highly efficient fog harvester of electrospun permanent superhydrophobic–hydrophilic polymer nanocomposite fiber mats. Nanoscale advances. 2020;2(10):4627-38.
49. Hadba L, Mendonça P, Silva LT, Carvalho M. Selecting fog harvesting meshes for environmental conditioning structures.
50. Knapczyk-Korczak J, Szewczyk PK, Ura DP, Bailey RJ, Bilotti E, Stachewicz U. Improving water harvesting efficiency of fog collectors with electrospun random and aligned Polyvinylidene fluoride (PVDF) fibers. Sustainable materials and technologies. 2020 Sep 1;25:e00191.
51. Cheng Y, Zhang S, Liu S, Huang J, Zhang Z, Wang X, Yu Z, Li S, Chen Z, Zhao Y, Lai Y. Fog catcher brushes with environmental friendly slippery alumina micro-needle structured surface for efficient fog-harvesting. Journal of cleaner production. 2021 Sep 15;315:127862.
52. Li J, Li W, Han X, Wang L. Sandwiched nets for efficient direction-independent fog collection. Journal of Colloid and Interface Science. 2021 Jan 1;581:545-51.
53. Moncuquet A, Mitranescu A, Marchand OC, Ramananarivo S, Duprat C. Collecting fog with vertical fibres: combined laboratory and in-situ study. Atmospheric Research. 2022 Oct 15;277:106312.
54. Cuevas JG, Bustamante C, Ostria-Gallardo E, Hernández P. The role of xerophytic vegetation on fog harvest. Journal of Arid Environments. 2023 Feb 1;209:104887.
55. Castelli G, Sanchez AC, Mestrallet A, Montaño LC, de Armentia TL, Salbitano F, Bresci E. Fog as unconventional water resource: Mapping fog occurrence and fog collection potential for food security in Southern Bolivia. Journal of Arid Environments. 2023 Jan 1;208:104884.
56. Parisi G, Szewczyk PK, Narayan S, Stachewicz U. Photoresponsive electrospun fiber meshes with switchable wettability for effective fog water harvesting in variable humidity conditions. ACS Applied Materials & Interfaces. 2023 Aug 9;15(33):40001-10.
57. Elshennawy AA, Abdelaal MY, Hamed AM, Awad MM. Evaluating mesh geometry and shade coefficient for fog harvesting collectors. Water Resources Management. 2023 Dec;37(15):6107-26.
58. Mosa M, Radwan F, Al-Ghobari H, Fouli H, Alazba AA. Impact of varied fog collector designs on fog and rainwater harvesting under fluctuating wind speed and direction. Earth Science Informatics. 2024 Feb;17(1):617-31.
59. Li D, Li C, Zhang M, Xiao M, Li J, Yang Z, Fu Q, Wang P, Yu K, Pan Y. Advanced fog harvesting method by coupling plasma and micro/nano materials. ACS Applied Materials & Interfaces. 2024 Feb 16;16(8):10984-95.
60. Uvarani A, Behura AK. Fog harvesting efficiency analysis of biomimicking surfaces: A review. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering. 2024 Feb 22:09544089241230162.
61. Fu Y, Li L, Ai S, Guo Z, Liu W. High-effective fog collection on metal surfaces by temperature gradients. Materials Today Sustainability. 2024 Mar 1;25:100654.
62. Li S, Li B, Wang C, Zhang R, Guo Z. 3D interlaced biomimetic wedge structures for efficient fog harvesting. Small. 2025 May;21(20):2412333.

63. Zarei M, Dabir B, Esmaeilian N, Warsinger DM. Biomimetic bumpy and eco-friendly slippery surfaces for enhanced dew and fog water harvesting. Journal of Water Process Engineering. 2025 Feb 1;70:106950.
64. Kaldeh SN, Yousefi H, Abdoos M, Shirazi MA, Noorollahi Y. Mapping thermal energy storage research in buildings (2020–2025): a bibliometric analysis of trends, themes, and global collaboration. Energy Conversion and Management: X. 2025 Oct 17:101345.
65. Mohammaddini S, Yousefi H, Abdoos M, Shirazi MA, Hajinezhad A. Techno-economic simulation of solar flat plate collector systems for building hot water demand supply. Energy. 2025 Oct 16:138933.
66. Naziri A, Tahavvor AR, Shirazi MA, Zahedi R. Feasibility study on heat recovery from gas turbine exhaust for absorption chiller operation and efficiency enhancement using neural networks. Thermal Science and Engineering Progress. 2025 Oct 24:104210.
67. Allah Rabbi Shirazi MA. Idea generation and examination of environmental challenges of floating solar photovoltaic power plants on wetlands and its economic advantage for local communities. Journal of Sustainable Energy Systems. 2024 Jan; 3(1): 39-51.
68. Shirazi MA, Zahedi R, Yousefi H, Aslani A. Environmental and damage assessment of electric vehicles compared to internal combustion engine vehicles under various ambient temperature scenarios using the LCA approach. Energy Nexus. 2025 Nov 19; 100606.

Urban Development Policy Making

Home Page: https://judpm.ir

Online ISSN: 3092-6564

Requirements for implementing participatory governance in urban management; Analysis of the participatory budgeting experience in Tehran Municipality

Ali Alaeddini[1*] | Hadi Heidari Gharehbolagh[2]

1. Corresponding Author, Director General of Planning, Budget and Performance Control of Tehran Municipality. Email: alaeddin.2007@yahoo.com
2. PhD in Industrial Engineering, Operations Research and Systems Engineering. Email: hadyheidary@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 27 July 2025
Revised 26 September 2025
Accepted 02 November 2025
Published Online 01 January 2026

Keywords:
Participatory governance,
citizen budgeting,
open government,
transparency,
participation,
accountability.

ABSTRACT

Article examines and analyzes the requirements for implementing participatory governance in urban management, with a specific emphasis on the practical experience of the "I am the Mayor" project within Tehran Municipality. Employing an analytical approach based on an extensive review of library resources, scientific articles, and reports on urban and governmental management, this research evaluates global perspectives and experiences in participatory governance and public participation in city administration. The qualitative data analysis relies on logical reasoning, comparative analysis, and textual evidence. Key findings indicate that a fundamental pillar of participatory governance is governmental openness, enabling citizens to actively engage in decision-making processes through transparency, participation, and accountability. Furthermore, successful implementation necessitates a robust two-way communication system between the government and citizens. The acceptance of civic roles by the populace is identified as a crucial requirement for participatory governance. Finally, citizen budgeting, a novel approach in urban management that highlights citizens' active involvement in resource allocation and financial decision-making, is presented as another vital element of governmental openness. In this context, the "I am the Mayor Project" stands out as a pioneering and unique experience in implementing participatory governance in Tehran. The study's outcomes are also applicable to cities with political and social backgrounds similar to Tehran. By scrutinizing the project's successes and challenges, the article proposes solutions for generalizing and enhancing participatory governance processes in urban management.

Cite this article: Alaeddini, A. & Heidari Gharehbolagh, H. (2026). Requirements for implementing participatory governance in urban management; Analysis of the participatory budgeting experience in Tehran Municipality. *Urban Development Policy Making*, 3 (1), 95-111. DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.536365.1057

© Ali Alaeddini, Hadi Heidari Gharehbolagh
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.536365.1057

Introduction

The purpose of this article is to examine and analyze the requirements for implementing participatory governance in urban management, focusing on the practical experience of the "I am the Mayor" project in Tehran Municipality. Participatory governance and increasing citizen participation in urban projects, including the "I am the Mayor" project, are considered a necessity in sustainable urban development. This research seeks to examine how urban projects can be implemented more effectively and with greater citizen participation using participatory governance. The "I am the Mayor" project, as a case study, shows how citizens can be involved in city-related decision-making by creating an appropriate platform and thereby helping to improve the quality of urban life.

Methodology

In this study, an analytical approach based on an extensive review of library resources, scientific articles, and reports on urban and government management has been used. The purpose of this review was to evaluate global perspectives and experiences in the field of participatory governance and public participation in city administration. Qualitative data analysis is based on logical reasoning, comparative comparison, and textual evidence. The data have been examined using content analysis and comparative analysis methods to identify patterns and trends related to participatory governance in urban management. This approach allows the researcher to gain a better understanding of the requirements and challenges of implementing participatory governance by examining different experiences in depth.

Result

The results of this study show that one of the main pillars of participatory governance is government openness, which allows citizens to participate in decision-making and play an active role in city governance. Government openness includes dimensions such as transparency, participation, and accountability. Also, implementing participatory governance requires creating a two-way relationship between the government and citizens, which requires an efficient system. Acceptance of the role of citizenship by the people is one of the important requirements in participatory governance, meaning that citizens must have greater responsibility for urban issues. Citizen budgeting, as a new approach, also emphasizes the active participation of citizens in the resource allocation process.

Conclusion

According to the findings of this study, it is suggested that the government and municipalities pay more attention to creating and strengthening participatory platforms for citizens. Creating transparency and information systems, holding training courses for citizens on citizenship rights and responsibilities, and developing accountability mechanisms are among the measures that can help improve participatory governance. It is also necessary to consider citizen budgeting as an effective tool in the fair distribution of resources and increasing citizen participation in urban projects. Promoting a culture of participation and responsibility among citizens is also of great importance.

پیشرفت شهری
سیاستگذاری
سایت نشریه: https:// judpmi.ir
شاپا الکترونیکی: ۶۵۶۴-۳۰۹۲

الزامات پیاده‌سازی حکمرانی مشارکتی در مدیریت شهری؛ واکاوی تجربهٔ بودجه‌ریزی مشارکتی در شهرداری تهران

علی علاءالدینی[1*] | هادی حیدری قره‌بلاغ[2]

۱. نویسندهٔ مسئول، مدیر کل برنامه‌ریزی، بودجه و کنترل عملکرد شهرداری تهران. رایانامه: alaeddin.2007@yahoo.com
۲. دکتری مهندسی صنایع، گرایش تحقیق در عملیات و مهندسی سیستم. رایانامه: hadyheidary@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱

کلیدواژه:
حکمرانی مشارکتی،
بودجه‌ریزی شهروندی،
گشودگی دولت،
شفافیت،
مشارکت،
پاسخ‌گویی.

چکیده

این مقاله به بررسی و تحلیل الزامات پیاده‌سازی حکمرانی مشارکتی در مدیریت شهری با تأکید بر تجربهٔ عملی طرح «من شهردارم» در شهرداری تهران می‌پردازد. با اتخاذ رویکردی تحلیلی و مبتنی بر مرور گستردهٔ منابع کتابخانه‌ای، مقالات علمی و گزارش‌های مدیریت شهری و دولتی، این تحقیق به ارزیابی دیدگاه‌ها و تجربیات جهانی در زمینهٔ حکمرانی مشارکتی و مشارکت مردم در ادارهٔ شهر می‌پردازد. تحلیل کیفی داده‌ها بر استدلال منطقی، مقایسهٔ تطبیقی و شواهد متنی استوار است. نتایج نشان می‌دهد یکی از ارکان اصلی حکمرانی مشارکتی، گشودگی دولت است که شهروندان بتوانند در تصمیم‌گیری دولت آغوش خود را در زمینه های شفافیت، مشارکت و پاسخ‌گویی باز کنند. همچنین، پیاده‌سازی حکمرانی مشارکتی به ایجاد ارتباطی دوسویه بین دولت و شهروند نیاز دارد که این ارتباط خود مستلزم وجود نظامی کارآمد است. پذیرش نقش شهروندی توسط مردم یکی از الزامات مهم در حکمرانی مشارکتی است. آخرین الزام در گشودگی دولت، بودجه‌ریزی شهروندی است که به عنوان رویکردی نوین در مدیریت شهری، بر مشارکت فعال شهروندان در فرایند تخصیص منابع و تصمیم‌گیری‌های مالی تأکید دارد. در این رابطه، طرح «من شهردارم» به عنوان بستر پیاده‌سازی حکمرانی مشارکتی مدیریت شهری شهر تهران و به عنوان اولین و منحصربه‌فردترین تجربهٔ کانون توجه قرار گرفت. همچنین، می‌توان نتایج این تحقیق را برای شهرها با پشتوانهٔ سیاسی و اجتماعی یکسان با شهر تهران به کار گرفت. با بررسی موفقیت‌ها و چالش‌های این طرح، مقاله راهکارهایی برای تعمیم و بهبود فرایندهای حکمرانی مشارکتی در مدیریت شهری ارائه می‌دهد.

استناد: علاءالدینی، علی و حیدری قره‌بلاغ، هادی (۱۴۰۵). الزامات پیاده‌سازی حکمرانی مشارکتی در مدیریت شهری؛ واکاوی تجربهٔ بودجه‌ریزی مشارکتی در شهرداری تهران. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۳ (۱) ۹۵-۱۱۱.

DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.536365.1057

© علی علاءالدینی، هادی حیدری قره‌بلاغ
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.536365.1057

۱. مقدمه

مفهوم «شهر» طی تاریخ تحولات شگرفی را پشت سر گذاشته و از صرفاً یک کالبد فیزیکی و مکانی به موجودیتی پویا، پیچیده و چندوجهی تبدیل شده است. در عصر حاضر، با افزایش شهرنشینی، پیچیدگی مسائل شهری و نیاز روزافزون شهروندان به مشارکت در تعیین سرنوشت محیط زندگی خود، «مدیریت شهری» دیگر نمی‌تواند فقط رویکردی بالا به پایین و متمرکز داشته باشد. در این‌میان، «حکمرانی شهری» به عنوان پارادایمی نوین، بر لزوم تعامل، همکاری و مشارکت طیف گسترده‌ای از ذی‌نفعان شامل دولت، بخش خصوصی، جامعهٔ مدنی و شهروندان در فرایندهای تصمیم‌گیری و اجرایی تأکید می‌ورزد. حکمرانی مشارکتی در مدیریت شهری، بازتابی از این تحول پارادایمی است که هدف آن، ایجاد شفافیت، پاسخ‌گویی، کارآمدی و مشروعیت در نظام ادارهٔ شهر از طریق سپردن بخشی از اختیارات و مسئولیت‌ها به خود مردم است. در چارچوب حکمرانی مشارکتی، ابزارها و سازوکارهای متنوعی برای عملیاتی کردن این رویکرد تعریف شده‌اند که «بودجه‌ریزی مشارکتی» از برجسته‌ترین و تأثیرگذارترین آن‌ها محسوب می‌شود. بودجه‌ریزی مشارکتی، فرایندی است که در آن شهروندان به طور مستقیم در اولویت‌بندی، تخصیص و نظارت بر بخشی از منابع مالی عمومی دخیل می‌شوند. این رویکرد نه تنها به ارتقای سرمایه اجتماعی، افزایش اعتماد عمومی و تقویت حس تعلق شهروندان به شهر یاری می‌رساند، بلکه با اولویت‌بندی پروژه‌ها بر اساس نیازهای واقعی مردم، به افزایش کارایی و اثربخشی هزینه‌کرد منابع عمومی منجر می‌شود [۱].

در سال‌های اخیر، تلاش‌هایی در راستای پیاده‌سازی رویکردهای نوین مدیریت شهری و افزایش مشارکت شهروندان صورت گرفته است. طرح «من شهردارم» یکی از این تلاش‌هاست که به طور مشخص بر محور بودجه‌ریزی مشارکتی برای تخصیص بخشی از بودجهٔ شهرداری به پروژه‌های محلی و منتخب شهروندان طراحی شده است. این طرح فرصتی مغتنم برای واکاوی علمی تجربهٔ عملی پیاده‌سازی بودجه‌ریزی مشارکتی در بستر کلان‌شهر تهران فراهم می‌آورد. با این‌حال، گذار از مدل‌های سنتی مدیریت شهری به سوی حکمرانی مشارکتی، به‌ویژه در ابعاد عملیاتی مانند بودجه‌ریزی مشارکتی، با موانع و چالش‌های متعددی روبه‌روست. این موانع می‌توانند در سطوح مختلف ساختاری، نهادی، قانونی، فرهنگی و فنی قابل بررسی باشند. درک عمیق این الزامات و موانع، برای موفقیت طرح‌هایی همچون «من شهردارم» و تعمیم آن به سایر بخش‌های مدیریت شهری حیاتی است. این مقاله با هدف بررسی و تبیین «الزامات پیاده‌سازی حکمرانی مشارکتی در مدیریت شهری با تمرکز بر تجربهٔ بودجه‌ریزی مشارکتی در شهرداری تهران (طرح من شهردارم)» تدوین شده است.

در این راستا، ابتدا به مبانی نظری حکمرانی مشارکتی و بودجه‌ریزی مشارکتی در مدیریت شهری پرداخته می‌شود و جایگاه این مفاهیم در ادبیات علمی روز دنیا مورد بحث قرار می‌گیرد. سپس، با تشریح چارچوب مفهومی و عملیاتی طرح «من شهردارم» در شهرداری تهران، تجربهٔ به‌دست‌آمده از اجرای آن تحلیل خواهد شد. محور اصلی این پژوهش، شناسایی و تحلیل الزامات کلیدی برای پیاده‌سازی موفقیت‌آمیز حکمرانی مشارکتی از طریق بودجه‌ریزی مشارکتی در مدیریت شهری تهران است. این الزامات شامل مواردی همچون چارچوب‌های قانونی و مقرراتی حمایتی، ظرفیت‌سازی سازمانی و توانمندسازی شهروندان، طراحی سازوکارهای مؤثر برای مشارکت فراگیر و پایدار، مدیریت تعارض‌های احتمالی، و همچنین نقش فناوری اطلاعات و ارتباطات در تسهیل فرایندهای مشارکتی خواهد بود. در نهایت، با واکاوی دستاوردها، چالش‌ها و درس‌آموخته‌های طرح «من شهردارم»، راهکارها و پیشنهادهایی برای ارتقا و تعمیم فرهنگ و فرایندهای حکمرانی مشارکتی در نظام مدیریت شهری تهران ارائه خواهد شد. این پژوهش تلاش دارد تا با نگاهی علمی و تحلیلی، به غنای دانش موجود در زمینهٔ حکمرانی شهری و ابزارهای مشارکتی آن بیفزاید و گامی مؤثر به منظور تحقق مدیریت شهری پاسخ‌گوتر، شفاف‌تر و مردمی‌تر در پایتخت ایران بردارد. انتظار می‌رود نتایج این تحقیق بتواند مبنایی برای سیاستگذاری‌های آتی و بهبود طراحی و اجرای برنامه‌های مشارکتی در سایر کلان‌شهرها نیز قرار گیرد [۲].

۲. بیان مسئله

شهر، به مثابه موجودیتی زنده و پویا، همواره در معرض دگرگونی‌ها و تحولات بنیادین بوده است. پیچیدگی‌های فزایندهٔ زندگی شهری در دوران معاصر، ناشی از رشد جمعیت، گسترش ابعاد فیزیکی و اجتماعی شهرها، و همچنین افزایش انتظارات شهروندان

از کیفیت زندگی و نحوهٔ ادارهٔ امور شهری، ضرورت بازنگری در رویکردهای سنتی مدیریت شهری را بیش از پیش نمایان ساخته است. در این‌میان، مفهوم «حکمرانی شهری» به عنوان یک پارادایم نوظهور، با تأکید بر ضرورت مشارکت فعال و مؤثر تمامی ذی‌نفعان (دولت، بخش خصوصی، جامعهٔ مدنی و شهروندان) در فرایندهای تصمیم‌گیری، اجرا و نظارت بر امور شهری، چارچوبی جامع‌تر و کارآمدتر را برای ادارهٔ شهرها ارائه می‌دهد. حکمرانی مشارکتی، به عنوان یکی از ابعاد کلیدی حکمرانی شهری، بر این اصل استوار است که ادارهٔ امور شهر نباید فقط در انحصار نهادهای رسمی و دولتی باشد، بلکه باید از ظرفیت‌ها، دانش و تجربیات شهروندان به عنوان اصلی‌ترین کاربران و ذی‌نفعان محیط شهری بهره برد. این رویکرد، بر لزوم ایجاد سازوکارهایی برای سپردن بخشی از مسئولیت‌ها و اختیارات به مردم و مشارکت دادن آن‌ها در شکل‌دهی به آیندهٔ شهرشان تأکید دارد. شهرداری تهران، به عنوان بزرگ‌ترین نهاد مدیریت شهری ایران، با چالش‌های متعددی در ایفای نقش یک «دولت محلی» واقعی مواجه است. ساختار کنونی، اغلب بر ارائهٔ خدمات متمرکز است و ظرفیت‌های تصمیم‌گیری مستقل، سیاستگذاری جامع و مدیریت بهینهٔ منابع را محدود می‌کند. نبود استقلال کافی، هماهنگی ضعیف بین سطوح مدیریتی، و مشارکت ناکافی شهروندان در تصمیم‌گیری‌ها، از جمله موانع اصلی هستند. این وضعیت، توانایی شهرداری در تحقق توسعهٔ پایدار و افزایش رضایت شهروندان را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد. سؤال اصلی این است که چگونه می‌توان ساختار و عملکرد شهرداری تهران را به گونه‌ای اصلاح کرد که بتواند به عنوان یک دولت محلی کارآمد، نقش مؤثرتری در جلب مشارکت شهروندان در ادارهٔ شهر و تأمین نیازهای آن‌ها داشته باشد؟

در دنیای امروز، حکمرانی سنتی با چالش‌های پیچیده‌ای مواجه است که به بازنگری و به‌کارگیری رویکردها و قاعده‌های نوین نیاز دارد. افزایش انتظارات عمومی، پیشرفت فناوری، تغییرات سریع اجتماعی و اقتصادی، و مسائل فراملیتی، همگی ضرورت انطباق حکمرانی با شرایط جدید را ایجاب می‌کنند. قاعده‌های نوین حکمرانی، از جمله شفافیت، پاسخ‌گویی، مشارکت، حاکمیت قانون، اثربخشی و کارایی، و تمرکز بر شهروندان، می‌توانند به بهبود عملکرد دولت‌ها و افزایش اعتماد عمومی کمک کنند. با این‌حال، به‌کارگیری این قاعده‌ها در عمل با موانعی روبه‌رو است. مقاومت در برابر تغییر، نبود ظرفیت‌های لازم، فساد، و تضاد منافع، از جمله چالش‌هایی هستند که مانع پیاده‌سازی کامل قاعده‌های نوین حکمرانی می‌شوند. در نتیجه، بررسی چگونگی به‌کارگیری مؤثر این قاعده‌ها، شناسایی موانع و ارائهٔ راهکارهای عملی برای غلبه بر آن‌ها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این مطالعه می‌تواند به دولت‌ها کمک کند تا با اصلاح ساختارها، فرایندها، و فرهنگ سازمانی خود، به حکمرانی بهتر و پاسخ‌گوتر دست یابند و اعتماد عمومی را تقویت کنند. دولت‌ها در سراسر جهان با چالش‌های نوینی روبه‌رو هستند که به تغییرات اساسی در ساختار و ماهیت سازمانی آن‌ها نیاز دارد. تغییر نسل دولت، به معنای گذار از الگوهای سنتی و بروکراتیک به رویکردهای نوین و چابک است که با نیازهای عصر دیجیتال و انتظارات فزایندهٔ شهروندان همخوانی داشته باشد. این تغییر نسل، مستلزم بازنگری در مأموریت‌ها، وظایف، فرایندها، و فرهنگ سازمانی دولت‌ها است. تغییر ساختار، شامل اصلاح تشکیلات، کاهش سلسله‌مراتب، و ایجاد واحدهای منعطف و پاسخ‌گو است. تغییر ماهیت سازمانی، به معنای تحول در ارزش‌ها، نگرش‌ها، و رفتارهای کارکنان دولت است تا آن‌ها بتوانند با نوآوری، خلاقیت، و مشارکت، به حل مسائل پیچیده کمک کنند. با این‌حال، تغییر نسل دولت با مقاومت‌های جدی روبه‌رو است. ساختارهای سنتی، قوانین و مقررات دست‌وپاگیر، و فرهنگ سازمانی محافظه‌کار، از جمله موانعی هستند که مانع تحقق این تغییر می‌شوند. در نتیجه، بررسی چگونگی ایجاد تغییر در ساختار و ماهیت سازمانی دولت، شناسایی عوامل مؤثر بر موفقیت این تغییر، و ارائهٔ راهکارهای عملی برای غلبه بر موانع، از اهمیت بالایی برخوردار است. این مطالعه می‌تواند به دولت‌ها کمک کند تا با طراحی ساختارها و فرایندهای نوین، و ایجاد فرهنگ سازمانی پویا و مشارکت‌جو، به ارائهٔ خدمات بهتر و افزایش رضایت شهروندان دست یابند.

در بستر حکمرانی مشارکتی، ابزارهای مختلفی برای جلب مشارکت شهروندان طراحی و اجرا شده‌اند که «بودجه‌ریزی مشارکتی» از مؤثرترین و عملیاتی‌ترین این ابزارها به شمار می‌رود. بودجه‌ریزی مشارکتی، فرایندی نظام‌مند است که شهروندان را در مراحل مختلف تدوین، تصویب، اجرا و نظارت بر بودجهٔ عمومی، به‌ویژه در تخصیص منابع به پروژه‌ها و خدمات شهری، دخیل می‌سازد. این شیوه، نه تنها به افزایش شفافیت و پاسخ‌گویی در نظام مالی شهرداری‌ها کمک می‌کند، بلکه با اولویت‌بندی

پروژه‌ها بر اساس نیازهای واقعی مردم و افزایش حس تعلق و مسئولیت‌پذیری اجتماعی، به تخصیص بهینه‌تر منابع و ارتقای رضایت عمومی منجر می‌شود.

شهرداری تهران، به عنوان کلان‌شهر پایتخت جمهوری اسلامی ایران و از پرجمعیت‌ترین و پیچیده‌ترین شهرهای جهان، همواره با چالش‌های متعددی در حوزهٔ مدیریت شهری روبه‌رو بوده است. افزایش روزافزون انتظارات شهروندان از کیفیت خدمات شهری، نیاز به توسعهٔ زیرساخت‌ها، مدیریت ناکارآمدی‌های گذشته، و لزوم انطباق با استانداردهای جهانی در زمینهٔ توسعهٔ پایدار شهری، همگی ضرورت اتخاذ رویکردهای نوین در مدیریت شهری را ایجاب می‌کنند. در این زمینه، طرح «من شهردارم» که با هدف پیاده‌سازی فرایند بودجه‌ریزی مشارکتی در شهرداری تهران طراحی و اجرا شده است، گامی مهم به منظور عملیاتی کردن اصول حکمرانی مشارکتی تلقی می‌شود. این طرح به شهروندان این امکان را می‌دهد که در انتخاب و اولویت‌بندی پروژه‌های عمرانی و خدماتی محله‌ای خود مشارکت کنند و به این‌ترتیب، در فرایند تخصیص بخشی از منابع مالی شهرداری سهیم باشند. با وجود اهداف بلندپروازانه و اهمیت رویکرد بودجه‌ریزی مشارکتی، تجربهٔ عملی اجرای چنین طرح‌هایی در کلان‌شهرهای ایران، از جمله تهران، همواره با موانع و چالش‌های متعددی همراه بوده است. این موانع می‌توانند ریشه در عوامل مختلفی از جمله فقدان چارچوب‌های قانونی و مقرراتی شفاف و حمایتی، مقاومت‌های اداری و فرهنگی در برابر واگذاری اختیارات و پذیرش مشارکت مردمی، ناکافی بودن ظرفیت‌های نهادی و فنی شهرداری برای مدیریت فرایندهای مشارکتی، محدودیت‌های مالی و اولویت‌بندی‌های متعارض، و همچنین عدم آشنایی و مشارکت فعال بخش قابل توجهی از شهروندان داشته باشند. درک عمیق این موانع و شناسایی الزامات کلیدی به منظور غلبه بر آن‌ها، برای موفقیت پایدار و اثربخش طرح‌هایی نظیر «من شهردارم» و تعمیم الگوی حکمرانی مشارکتی در مدیریت شهری تهران، امری حیاتی است.

۳. ضرورت و نوآوری تحقیق

در شرایطی که نظام مدیریت شهری در بسیاری از کلان‌شهرها، از جمله تهران، با چالش‌های مزمن ناکارآمدی، عدم شفافیت و فاصله گرفتن از نیازهای واقعی شهروندان دست‌وپنجه نرم می‌کند، اتخاذ رویکردهای نوین مدیریتی که بر مشارکت فعال مردم تأکید دارند، اهمیت زیادی دارد. حکمرانی مشارکتی و به تبع آن، بودجه‌ریزی مشارکتی، نه تنها ابزارهایی برای افزایش کارآمدی و اثربخشی در ادارهٔ امور شهری هستند، بلکه می‌توانند به عنوان راهبردهایی برای تقویت سرمایه اجتماعی، افزایش اعتماد عمومی و ایجاد حس تعلق و مسئولیت‌پذیری در میان شهروندان عمل کنند.

نوآوری طرح «الزامات پیاده‌سازی حکمرانی مشارکتی در مدیریت شهری؛ واکاوی تجربهٔ بودجه‌ریزی مشارکتی در شهرداری تهران: طرح من شهردارم» در ایجاد یک سازوکار عملیاتی و پایدار برای ادغام دیدگاه‌ها و نیازهای شهروندان در فرایندهای تصمیم‌گیری و تخصیص منابع شهری نهفته است. این رویکرد با فراتر رفتن از مدل‌های سنتی مدیریت شهری، بستری را فراهم می‌آورد که در آن، شهروندان نه تنها به عنوان مخاطبان منفعل، بلکه به عنوان بازیگران فعال در ترسیم اولویت‌ها و تخصیص بودجه مشارکت می‌کنند. پیاده‌سازی موفق طرح «من شهردارم» می‌تواند الگویی نوین از حکمرانی شهری را به نمایش بگذارد که شفافیت، پاسخ‌گویی و کارایی را از طریق مشارکت مستقیم شهروندان در فرایند بودجه‌ریزی، ارتقا می‌بخشد و به این‌ترتیب، به مدیریت شهری کارآمدتر و عادلانه‌تر منجر می‌شود.

۴. الزامات حکمرانی مشارکتی

- **گشودگی دولت:** یکی از ارکان اصلی حکمرانی مشارکتی، گشودگی دولت است. شهروندان بتوانند در تصمیم‌گیری دولت آغوش خود را باز کنند. در حکمرانی مشارکتی، گشودگی دولت به عنوان یک عنصر حیاتی برجسته می‌شود، که نشان‌دهندهٔ آمادگی دولت برای تعامل فعال با شهروندان و ذی‌نفعان در فرایندهای تصمیم‌گیری است. این مفهوم فراتر از شفافیت ساده عمل می‌کند و به معنای ایجاد فرصت‌های معنادار برای مشارکت عمومی، تبادل اطلاعات آزاد و فراهم کردن زمینه‌هایی است که شهروندان بتوانند دیدگاه‌ها و تجربیات خود را در شکل‌دهی سیاست‌ها و برنامه‌های شهری به اشتراک بگذارند. گشودگی دولت شامل دسترسی آسان به اطلاعات، فرایندهای شفاف تصمیم‌گیری، و مکانیزم‌های بازخورد مؤثر است که به

شهروندان اجازه می‌دهد تا نه تنها در جریان امور قرار گیرند، بلکه در تصمیم‌گیری‌ها نیز نقش داشته باشند. از طریق گشودگی دولت، اعتماد عمومی تقویت می‌شود، مسئولیت‌پذیری دولت افزایش می‌یابد و سیاست‌ها و برنامه‌های شهری به طور بهتری با نیازها و انتظارات جامعه همسو می‌شوند. این امر به نوبهٔ خود، به بهبود کیفیت زندگی شهروندان و ایجاد یک شهر پایدارتر و عادلانه‌تر منجر می‌شود. گشودگی دولت شامل سه مؤلفهٔ کلیدی شفافیت، مشارکت و پاسخ‌گویی می‌شود.

- **شفافیت:** شفافیت در حکمرانی باز به معنای دسترسی آزاد و آسان شهروندان به اطلاعات مربوط به فعالیت‌ها، تصمیمات و عملکردهای دولت است که شامل انتشار داده‌ها، اسناد، گزارش‌ها و سایر اطلاعات کلیدی به شکلی قابل فهم و دسترس‌پذیر می‌شود. شفافیت به شهروندان امکان می‌دهد تا عملکرد دولت را بررسی کنند، از سوء استفاده‌های احتمالی جلوگیری کنند و مطمئن شوند که منابع عمومی به‌درستی مدیریت می‌شوند. ایجاد شفافیت مستلزم استفاده از فناوری‌های نوین، ارائهٔ اطلاعات به زبان ساده و قابل فهم، و ایجاد کانال‌های ارتباطی دوطرفه بین دولت و شهروندان است.
- **مشارکت:** مشارکت به معنای درگیر کردن فعالانهٔ شهروندان در فرایندهای تصمیم‌گیری دولت است که شامل ایجاد فرصت‌هایی برای شهروندان می‌شود تا نظرات، پیشنهادها و ایده‌های خود را در مورد سیاست‌ها و برنامه‌های دولتی ارائه دهند. مشارکت می‌تواند از طریق روش‌های مختلفی مانند نظرسنجی‌ها، جلسات عمومی، شوراهای مشورتی و پلتفرم‌های آنلاین صورت گیرد. هدف از مشارکت، بهره‌گیری از دانش و تجربیات شهروندان، افزایش مشروعیت تصمیمات دولتی و ایجاد حس مالکیت و مسئولیت‌پذیری بین شهروندان است.
- **پاسخ‌گویی:** پاسخ‌گویی به معنای مسئولیت‌پذیری دولت در قبال تصمیمات و عملکردهای خود است که شامل ایجاد سازوکارهایی می‌شود که شهروندان بتوانند دولت را در قبال عملکرد خود پاسخ‌گو کنند. پاسخ‌گویی می‌تواند از طریق روش‌های مختلفی مانند ارائهٔ گزارش‌های عملکرد، بررسی شکایت‌های شهروندان و اعمال مجازات برای سوء استفاده‌ها صورت گیرد. هدف از پاسخ‌گویی، تضمین می‌کند که دولت به نیازها و خواسته‌های شهروندان توجه کند و مدام عملکرد خود را بهبود بخشد.

۴-۱. پذیرش نقش شهروندی توسط مردم

نگرش سنتی به روابط دولت و مردم، اغلب شهروندان را در جایگاه «ارباب رجوع» قرار می‌دهد؛ موجودیت‌هایی که فقط برای دریافت خدمات به سازمان‌های دولتی مراجعه می‌کنند و نقش منفعل در فرایندهای مدیریتی دارند. این نگرش، مانع از مشارکت فعال و خلاقانهٔ مردم در ادارهٔ امور شهری و اجتماعی می‌شود. با این‌حال، تحولات پارادایمیک در مدیریت شهری، لزوم بازنگری در این جایگاه را ایجاب می‌کند. گذار از «ارباب رجوع» به «مشتری»، گامی رو به جلو محسوب می‌شود که بر ارائهٔ خدمات با کیفیت، رضایتمندی و پاسخ‌گویی نهادهای دولتی تأکید دارد. این رویکرد، هرچند بهتر است، اما همچنان ماهیت داد و ستد را حفظ می‌کند و ممکن است نتواند تمام ابعاد روابط پیچیدهٔ شهر و شهروند را پوشش دهد. نقطهٔ اوج این تحول، رسیدن به مفهوم «شهروند» است؛ جایگاهی که در آن، افراد نه تنها دریافت‌کنندهٔ خدمات، بلکه مشارکت‌کنندهٔ فعال در تعیین سرنوشت شهر، تولیدکنندهٔ ایده‌ها، ناظر بر عملکرد مسئولان و دارای حقوق و مسئولیت‌های متقابل با دولت است. این ارتقا نیازمند اقدامات فرهنگی و اجتماعی در راستای پذیرش نقش شهروندی و مسئولیت‌پذیری مردم نسبت به سرنوشت شهر و همشهریان است.

۴-۲. لزوم پیاده‌سازی نظام مدیریت ارتباط با شهروندان

پیاده‌سازی حکمرانی مشارکتی نیازمند ایجاد ارتباطی دوسویه بین دولت و شهروند است که این ارتباط خود مستلزم وجود نظامی کارآمد است. همان‌گونه که نظام مدیریت ارتباط با شهرندان (CZRM[1]) در بخش خصوصی می‌تواند چالش‌های ارتباط‌گیری بین بنگاه و مشتری را حل کند. نظام مدیریت ارتباط به شهروندان باید بستری فعال، صادقانه و در دسترس برای ایجاد ارتباط پایدار و عمیق بین دولت و شهروند باشد.

1. Citizen Relationship Management

۴-۳. بودجه‌ریزی شهروندی

رویکرد بودجه‌ریزی مشارکتی، روشی نوآورانه در ادارهٔ شهرهاست که مشارکت فعال شهروندان را در تصمیم‌گیری‌های مالی و نحوهٔ تخصیص منابع در اولویت قرار می‌دهد. هدف اصلی این مدل، افزایش شفافیت، پاسخ‌گویی و اعتماد عمومی به مدیریت شهری و تلاش می‌کند تا شهروندان بتوانند به طور مؤثرتری در تعیین اولویت‌های هزینه‌ای شهر نقش داشته باشند. تحقیقات نشان داده است مشارکت مستقیم و غیرمستقیم مردم در فرایند بودجه‌ریزی، تأثیر مثبتی دارد و می‌تواند به توزیع عادلانه‌تر منابع و کاهش فساد منجر شود. برای اجرای موفق بودجه‌ریزی شهروندی، به زیرساخت‌های مناسب فناوری اطلاعات، آموزش‌های همگانی و ایجاد فرهنگ مشارکت نیاز داریم. با این‌حال، موانعی هم وجود دارد؛ مثل نابرابری در دسترسی به اطلاعات و نادیده گرفتن دیدگاه‌های گروه‌های مختلف اجتماعی. در مجموع، پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد توسعهٔ مدل‌های مشارکتی در بودجه‌ریزی شهری ضروری است و نقش مهمی در تحقق حکمرانی مطلوب و توسعهٔ پایدار ایفا می‌کند.

۵. مبانی نظری تحقیق

- **حکمرانی مشارکتی**

حکمرانی مشارکتی محلی، فرایندی است که شهروندان را در تصمیم‌گیری‌ها و اجرای سیاست‌های ادارهٔ محلی درگیر می‌کند تا ضمن افزایش مشروعیت و پاسخ‌گویی، به بهبود کیفیت خدمات و همبستگی اجتماعی منجر شود [۱]. این رویکرد با بهره‌گیری از دانش و تجربیات بومی، راهکارهای مؤثرتری برای حل مسائل پیچیدهٔ شهری ارائه می‌دهد و به توانمندسازی جامعهٔ محلی کمک می‌کند [۲]. در دنیای امروز، استفاده از فناوری‌های نوین نیز نقش مهمی در تسهیل این مشارکت‌ها ایفا می‌کند و امکان دسترسی گسترده‌تر شهروندان به فرایندهای حکمرانی را فراهم می‌آورد [۳].

مفهوم «حکمرانی[1]» در دهه‌های اخیر به طور فزاینده‌ای در ادبیات علوم سیاسی، مدیریت عمومی و مطالعات شهری مورد توجه قرار گرفته است. این مفهوم، که اغلب در تقابل با مفهوم سنتی «حکومت[2]» قرار می‌گیرد، به فرایندها، ساختارها و روابطی اشاره دارد که از طریق آن‌ها جامعه سازماندهی و هدایت می‌شود [۴]. در حالی که «حکومت» بر نقش دولت و نهادهای رسمی تأکید دارد، «حکمرانی» دامنهٔ گسترده‌تری را پوشش می‌دهد و شامل تعاملات میان دولت، بخش خصوصی، سازمان‌های غیردولتی، جامعهٔ مدنی و شهروندان در شکل‌دهی به سیاست‌ها و ارائهٔ خدمات عمومی می‌شود [۵]. در چارچوب حکمرانی شهری، «حکمرانی مشارکتی[3]» به عنوان یکی از رویکردهای کلیدی مطرح شده است. این رویکرد بر اهمیت دخالت دادن شهروندان و سایر بازیگران غیردولتی در فرایندهای تصمیم‌گیری و مدیریت امور شهری تأکید دارد [۶]. هدف اصلی حکمرانی مشارکتی، افزایش شفافیت، پاسخ‌گویی، مشروعیت و کارآمدی در نظام ادارهٔ شهر از طریق ایجاد کانال‌های ارتباطی مؤثر و سازوکارهای عملی برای مشارکت شهروندان در ابعاد مختلف مدیریت شهری است [۷]. اعتقاد بر این است که مشارکت شهروندان نه تنها به غنی‌تر شدن فرایندهای تصمیم‌گیری با بهره‌گیری از دانش و تجربیات محلی کمک می‌کند، بلکه به افزایش پذیرش سیاست‌ها، تقویت حس تعلق و مسئولیت‌پذیری اجتماعی و در نهایت، بهبود کیفیت زندگی شهری منجر می‌شود [۸]. مطالعات متعددی به بررسی ابعاد و سازوکارهای حکمرانی مشارکتی پرداخته‌اند. برخی پژوهش‌ها بر اهمیت ایجاد «شبکه‌های حکمرانی[4]» تأکید دارند که در آن‌ها بازیگران مختلف به صورت افقی و با هدف حل مسائل مشترک شهری با یکدیگر همکاری می‌کنند [۹]. دیگران بر نقش «دموکراسی مشارکتی[5]» و فرایندهای گفت‌وگومحور در ایجاد توافق و اجماع میان ذینفعان مختلف تأکید کرده‌اند [۱۰]. در حوزهٔ مدیریت شهری به طور خاص، ابزارهایی نظیر بودجه‌ریزی مشارکتی، برنامه‌ریزی راهبردی مشارکتی، شوراهای محلی و سازمان‌های مردم‌نهاد به عنوان کانال‌های مهمی برای تحقق حکمرانی مشارکتی شناسایی شده‌اند [۱۱].

1. Governance
2. Government
3. Participatory Governance
4. Governance Networks
5. Deliberative Democracy

تجربهٔ کشورها و شهرهای مختلف در پیاده‌سازی حکمرانی مشارکتی نشان می‌دهد موفقیت این رویکرد به عوامل متعددی بستگی دارد. از جملهٔ این عوامل می‌توان به وجود ارادهٔ سیاسی قوی، چارچوب‌های قانونی و نهادی حمایتی، ظرفیت‌سازی برای مشارکت‌کنندگان (هم شهروندان و هم نهادهای عمومی)، دسترسی به اطلاعات شفاف، و وجود سازوکارهای مؤثر برای بازخورد و پاسخ‌گویی اشاره کرد [۱۲]. همچنین، چالش‌هایی نظیر عدم تمایل برخی گروه‌های اجتماعی به مشارکت، پیچیدگی فرایندهای مشارکتی، و احتمال سوءاستفاده از سازوکارهای مشارکتی برای اهداف خاص، از جمله موانع رایج در مسیر تحقق حکمرانی مشارکتی محسوب می‌شوند [۱۳].

در ایران، مفهوم حکمرانی مشارکتی اگرچه در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته، اما پیاده‌سازی عملی آن در مدیریت شهری با چالش‌های خاص خود روبه‌رو بوده است. طرح‌هایی مانند «من شهردارم» در شهرداری تهران تلاشی به منظور عملیاتی کردن بودجه‌ریزی مشارکتی و ارتقای سطح مشارکت شهروندان در ادارهٔ امور شهری است. با این‌حال، ارزیابی میزان موفقیت این طرح‌ها و شناسایی الزامات واقعی برای تعمیم و نهادینه‌سازی حکمرانی مشارکتی در نظام مدیریت شهری ایران، نیازمند مطالعات دقیق‌تر و مبتنی بر شواهد تجربی است. این پژوهش با اتکا بر ادبیات موضوع، در پی بررسی همین الزامات در بستر شهرداری تهران است.

• مدیریت شهری

در دهه‌های اخیر، مدیریت شهری شاهد تحولات چشمگیری بوده و حکمرانی مشارکتی به عنوان رویکردی اساسی برای افزایش کارایی و پاسخ‌گویی در ادارهٔ امور شهرها مطرح شده است. بررسی‌های اخیر نشان می‌دهد مشارکت فعال شهروندان در فرایندهای تصمیم‌گیری، به‌ویژه در بودجه‌ریزی، می‌تواند به تخصیص بهینهٔ منابع و افزایش رضایت عمومی منجر شود [۱۴]. این رویکرد، که در نمونه‌هایی مانند طرح «من شهردارم» در تهران نیز به کار گرفته شده، مستلزم چارچوب‌های قانونی و اجرایی منسجمی است تا از اثربخشی و پایداری آن اطمینان حاصل شود [۱۵].

مدیریت شهری[1] به مجموعه فرایندها، ساختارها و استراتژی‌هایی گفته می‌شود که دولت‌های محلی و سایر بازیگران برای هدایت توسعه، ارائهٔ خدمات عمومی، و بهبود کیفیت زندگی در مناطق شهری به کار می‌گیرند. طی قرن بیستم، مدل‌های مدیریت شهری عمدتاً بر رویکردهای دستوری و سلسله‌مراتبی متمرکز بودند که در آن دولت محلی نقش اصلی را در برنامه‌ریزی، اجرا و نظارت بر امور شهری ایفا می‌کرد [۱۶]. با این‌حال، با افزایش پیچیدگی‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی در شهرهای مدرن، و همچنین با ظهور مفاهیمی همچون جهانی شدن و جهانی شدن[2]، نیاز به بازنگری در رویکردهای سنتی مدیریت شهری و اتخاذ مدل‌های انعطاف‌پذیرتر و مشارکتی‌تر احساس شد. در دهه‌های اخیر، ادبیات مدیریت شهری شاهد تحولات قابل توجهی بوده است. از برجسته‌ترین این تحولات، گذار از مفهوم حکومت به حکمرانی در ادارهٔ شهرها بوده است. همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، در حالی که حکومت بر نقش انحصاری دولت تأکید دارد، حکمرانی بر شبکه‌ای از بازیگران شامل دولت، بخش خصوصی، سازمان‌های غیردولتی، و جامعهٔ مدنی دلالت دارد که در یک فرایند تعاملی و اغلب غیرمتمرکز، در ادارهٔ امور شهری مشارکت می‌کنند. این تغییر پارادایم، مدیریت شهری را از یک فرایند فقط دولتی به یک مسئولیت مشترک و چندوجهی تبدیل کرده است. مفهوم «شهر هوشمند» نیز به یکی از محورهای اصلی در ادبیات مدیریت شهری نوین تبدیل شده است. شهرهای هوشمند با بهره‌گیری از فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات، به دنبال افزایش کارایی در ارائهٔ خدمات شهری، بهبود کیفیت زندگی شهروندان، و ارتقای پایداری زیست‌محیطی هستند [۱۷]. این رویکرد، جنبه‌های مختلفی از جمله حمل‌ونقل هوشمند، انرژی هوشمند، دولت الکترونیک، و مدیریت مشارکتی از طریق پلتفرم‌های دیجیتال را در بر می‌گیرد. با این‌حال، منتقدان نسبت به شکاف دیجیتال و احتمال تشدید نابرابری‌ها در شهرهای هوشمند هشدار می‌دهند و بر لزوم توجه به جنبه‌های اجتماعی و انسانی در کنار فناوری تأکید دارند [۱۸].

1. Urban Management
2. Globalization

از سوی دیگر، توجه به پایداری[1] به یک اصل بنیادین در مدیریت شهری تبدیل شده است. توسعهٔ پایدار شهری، با هدف ایجاد شهرهایی که هم نیازهای نسل حاضر را برآورده سازند و هم توانایی نسل‌های آینده را برای برآورده کردن نیازهای خود به خطر نیندازند، چارچوب‌های جدیدی را برای برنامه‌ریزی و مدیریت شهری ارائه داده است [۱۹]. این رویکرد بر ادغام ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در تمام تصمیمات مدیریتی تأکید دارد و به ظهور مفاهیمی همچون «شهر سبز» و «شهر تاب‌آور» شده است که بر کاهش اثرات زیست‌محیطی، سازگاری با تغییرات اقلیمی، و افزایش ظرفیت مقابله با بحران‌ها تمرکز دارند [۲۰].

در بستر مدیریتی ایران، تجربهٔ شهرداری‌ها در پیاده‌سازی رویکردهای نوین مدیریت شهری، از جمله حکمرانی مشارکتی و شهر هوشمند، با چالش‌ها و فرصت‌های منحصربه‌فردی همراه بوده است. درک عمیق‌تر این تحولات و ارزیابی میزان موفقیت آن‌ها، نیازمند تحلیل ادبیات موضوع با در نظر گرفتن بافتار فرهنگی، اجتماعی و سیاسی ایران است. این بخش از ادبیات موضوع، به دنبال ترسیم چشم‌اندازی از تحولات اخیر در مدیریت شهری و چارچوب‌های نظری مرتبط با آن است تا بستری برای تحلیل پژوهش حاضر فراهم آورد.

- **بودجه‌ریزی مشارکتی**

بودجه‌ریزی مشارکتی، فرایندی است که طی آن، شهروندان در اولویت‌بندی و تخصیص بخشی از بودجهٔ عمومی محلی مشارکت می‌کنند تا ضمن افزایش شفافیت و پاسخ‌گویی، نیازهای واقعی جامعه را در تخصیص منابع لحاظ کنند [۲۱]. این رویکرد نه تنها به تقویت دموکراسی محلی کمک می‌کند، بلکه با افزایش حس مالکیت شهروندان نسبت به پروژه‌ها، به اجرای موفق‌تر و پایدارتر طرح‌ها منجر می‌شود [۲۲]. استفاده از پلتفرم‌های دیجیتال و ابزارهای نوآورانه، امکان مشارکت گسترده‌تر و دسترسی آسان‌تر شهروندان به فرایند بودجه‌ریزی را فراهم آورده و اثربخشی این مکانیزم را دوچندان کرده است [۲۳].

بودجه‌ریزی مشارکتی[2] یک فرایند دموکراتیک است که به شهروندان این امکان را می‌دهد تا مستقیم در تصمیم‌گیری دربارهٔ نحوهٔ تخصیص بخشی از بودجهٔ عمومی نقش داشته باشند [۲۴]. این رویکرد، که ریشه در تجربیات شهرداری پورتو آلگره در برزیل دارد، در دهه‌های اخیر به عنوان یک نوآوری دموکراتیک در سطح جهانی گسترش یافته و در شهرها و کشورهای مختلف به اجرا درآمده است [۲۵]. هدف اصلی بودجه‌ریزی مشارکتی، افزایش شفافیت، پاسخ‌گویی، و عدالت در توزیع منابع عمومی، و همچنین تقویت مشارکت شهروندان در فرایندهای تصمیم‌گیری و نظارت بر عملکرد دولت‌های محلی است [۲۶]. ادبیات بودجه‌ریزی مشارکتی طیف گسترده‌ای از موضوعات را در بر می‌گیرد، از جمله: مبانی نظری، مدل‌های اجرایی، مزایا و چالش‌ها، و تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و سیاسی. از منظر نظری، بودجه‌ریزی مشارکتی ریشه در اندیشه‌های دموکراسی مشارکتی، دموکراسی مشورتی [۲۷] و نظریه‌های عدالت توزیعی [۲۸] دارد. این نظریه‌ها بر اهمیت مشارکت شهروندان در فرایندهای تصمیم‌گیری جمعی، ایجاد فضای گفت‌وگو و استدلال برای رسیدن به توافق، و توزیع عادلانه منابع بر اساس نیازها و اولویت‌های جامعه تأکید دارند.

مدل‌های اجرایی بودجه‌ریزی مشارکتی متنوع هستند و بسته به بافتار محلی، ساختار سیاسی، و منابع در دسترس، تفاوت‌هایی دارند. با این‌حال، یک مدل کلی شامل مراحل زیر است: (۱) تعیین بخشی از بودجه برای فرایند مشارکتی؛ (۲) اطلاع‌رسانی و دعوت از شهروندان برای شرکت در فرایند؛ (۳) برگزاری جلسات عمومی و کارگاه‌ها برای جمع‌آوری ایده‌ها و پیشنهادها؛ (۴) بررسی فنی و ارزیابی پیشنهادها توسط کارشناسان؛ (۵) رأی‌گیری شهروندان روی پیشنهادهای برتر؛ و (۶) اجرای پروژه‌های منتخب توسط دولت محلی [۲۹].

مطالعات متعددی به بررسی مزایا و چالش‌های بودجه‌ریزی مشارکتی پرداخته‌اند. از جمله مزایای این رویکرد می‌توان به افزایش آگاهی شهروندان از مسائل مالی و بودجه‌ای، تقویت حس تعلق و مسئولیت‌پذیری اجتماعی، بهبود کیفیت خدمات عمومی، و کاهش فساد و سوء استفاده از منابع عمومی اشاره کرد [۳۰]. با این‌حال، بودجه‌ریزی مشارکتی با چالش‌هایی نیز روبه‌رو

1. Sustainability
2. Participatory Budgeting

است، از جمله: محدودیت منابع در دسترس برای فرایند مشارکتی، عدم تمایل برخی گروه‌های اجتماعی به مشارکت، پیچیدگی فرایندهای مشارکتی، احتمال تسلط گروه‌های خاص بر فرایند تصمیم‌گیری، و مشکلات مربوط به اجرا و نظارت بر پروژه‌های منتخب. در ایران، تجربهٔ بودجه‌ریزی مشارکتی محدود است و بیشتر به طرح‌هایی مانند «من شهردارم» در شهرداری تهران محدود می‌شود. ارزیابی میزان موفقیت این طرح‌ها و شناسایی الزامات نهادینه‌سازی بودجه‌ریزی مشارکتی در نظام مدیریت شهری ایران، نیازمند مطالعات دقیق‌تر و مبتنی بر شواهد تجربی است.

- **بودجه‌ریزی شهروندی**

بودجه‌ریزی شهروندی، مکانیزمی است که شهروندان را قادر می‌سازد تا با درک عمیق‌تر از منابع و اولویت‌های مالی دولت محلی، در فرایند تصمیم‌گیری بودجه‌ای مشارکت فعال داشته باشند و بر تخصیص منابع عمومی تأثیر بگذارند [۳۱]. این رویکرد با هدف افزایش شفافیت مالی و پاسخ‌گویی دولت، به شهروندان این امکان را می‌دهد تا نیازهای واقعی جامعهٔ خود را مستقیم در تدوین بودجه منعکس کنند، که این امر به نوبهٔ خود به بهبود کیفیت خدمات عمومی و تقویت اعتماد اجتماعی منجر می‌شود [۳۲]. علاوه بر این، استفاده از ابزارهای آموزشی و پلتفرم‌های دیجیتال، دسترسی شهروندان به اطلاعات بودجه‌ای را تسهیل کرده و مشارکت مؤثرتر آن‌ها را در این فرایند حیاتی تضمین می‌کند [۳۲].

بودجه‌ریزی شهروندی به عنوان رویکردی نوین در مدیریت شهری، بر مشارکت فعال شهروندان در فرایند تخصیص منابع و تصمیم‌گیری‌های مالی تأکید دارد. این رویکرد با هدف ارتقای شفافیت، پاسخ‌گویی و اعتماد عمومی طراحی شده است و سعی دارد نقش شهروندان را در تعیین اولویت‌های هزینه‌ای، تقویت کند. در مطالعات مختلف، اهمیت مشارکت مستقیم و غیرمستقیم شهروندان در فرایند بودجه‌ریزی مورد تأکید قرار گرفته است، به طوری که مشارکت آن‌ها به توزیع عادلانه‌تر منابع و کاهش فساد منجر می‌شود. پژوهش‌ها نشان می‌دهند اجرای بودجه‌ریزی شهروندی نیازمند زیرساخت‌های فناوری اطلاعات، آموزش‌های عمومی و فرهنگ مشارکت است. همچنین، چالش‌هایی مانند نابرابری در دسترسی به اطلاعات و کم‌توجهی به نظرات اقشار مختلف، از جمله موانع پیش روی این رویکرد است. در کل، ادبیات موجود بر اهمیت و ضرورت توسعهٔ مدل‌های مشارکتی در بودجه‌ریزی شهری تأکید دارد و نقش آن را در تحقق حکمرانی خوب و توسعهٔ پایدار برجسته می‌کند.

۶. پیشینهٔ تحقیق

موضوع حکمرانی مشارکتی[1] و نقش آن در بهبود مدیریت شهری، در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از پژوهشگران و سیاستگذاران قرار گرفته است. حکمرانی مشارکتی به معنای درگیر کردن شهروندان و سایر ذی‌نفعان در فرایندهای تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی، و اجرای سیاست‌های عمومی است. هدف از این رویکرد، افزایش شفافیت، پاسخ‌گویی، کارآمدی، و مشروعیت در مدیریت شهری، و همچنین تقویت حس تعلق و مسئولیت‌پذیری شهروندان نسبت به شهر خود است. بودجه‌ریزی مشارکتی به عنوان یکی از ابزارهای اصلی حکمرانی مشارکتی، به شهروندان این امکان را می‌دهد تا مستقیم در تصمیم‌گیری دربارهٔ نحوهٔ تخصیص بخشی از بودجهٔ عمومی نقش داشته باشند. این رویکرد، که ریشه در تجربیات شهرداری پورتو آلگره در برزیل دارد، در دهه‌های اخیر به عنوان یک نوآوری دموکراتیک در سطح جهانی گسترش یافته و در شهرها و کشورهای مختلف به اجرا درآمده است [۳۴].

در زمینهٔ الزامات پیاده‌سازی حکمرانی مشارکتی در مدیریت شهری، مطالعات متعددی انجام شده است. برخی از این مطالعات به بررسی عوامل سازمانی و نهادی مؤثر بر موفقیت حکمرانی مشارکتی پرداخته‌اند. به عنوان مثال، نباتچی و همکاران با بررسی تجربیات مختلف حکمرانی مشارکتی در سطح جهان، نشان دادند وجود ساختارهای سازمانی مناسب، قوانین و مقررات شفاف، و ظرفیت‌های انسانی کافی، از جمله الزامات اساسی برای پیاده‌سازی موفق حکمرانی مشارکتی است [۳۵]. برخی دیگر از مطالعات به بررسی نقش فناوری اطلاعات و ارتباطات در تسهیل حکمرانی مشارکتی پرداخته‌اند. به عنوان مثال، لی و همکاران با بررسی تجربهٔ شهر سئول در کرهٔ جنوبی، نشان دادند استفاده از سامانه‌های الکترونیکی و شبکه‌های اجتماعی می‌تواند به افزایش

1. Participatory Governance

مشارکت شهروندان در فرایندهای تصمیم‌گیری و نظارت بر عملکرد دولت‌های محلی کمک کند [۳۶]. در ایران، موضوع حکمرانی مشارکتی در مدیریت شهری، به‌ویژه در قالب طرح‌هایی مانند «من شهردارم» در شهرداری تهران، مورد توجه قرار گرفته است. با این‌حال، تعداد مطالعات علمی و پژوهش‌های مستقل در این زمینه محدود است. برخی از مطالعات موجود به بررسی ابعاد مختلف طرح «من شهردارم» پرداخته‌اند. به عنوان مثال، حسینی و همکاران با بررسی تجربهٔ شهروندان تهرانی در طرح «من شهردارم»، نشان دادند این طرح توانسته است تا حدودی به افزایش آگاهی شهروندان از مسائل شهری و تقویت حس تعلق آن‌ها به شهر خود کمک کند [۳۷]. نتایج این مطالعه همچنین نشان داد برخی شهروندان نسبت به اثربخشی این طرح در حل مشکلات شهری تردید دارند.

برخی دیگر از مطالعات به بررسی چالش‌های پیاده‌سازی حکمرانی مشارکتی در شهرداری تهران پرداخته‌اند. به عنوان مثال، احمدی و همکاران با بررسی موانع سازمانی و فرهنگی پیاده‌سازی حکمرانی مشارکتی در شهرداری تهران، نشان دادند نبود فرهنگ سازمانی مشارکتی، مقاومت برخی از مدیران در برابر تغییر، و کمبود منابع مالی و انسانی، از جمله چالش‌های اصلی در این زمینه هستند [۳۸]. با توجه به پیشینهٔ تحقیق، می‌توان گفت که موضوع الزامات پیاده‌سازی حکمرانی مشارکتی در مدیریت شهری، به‌ویژه در قالب بودجه‌ریزی مشارکتی، اهمیت زیادی دارد. اما، در زمینهٔ تجربه ایران و به طور خاص طرح «من شهردارم»، نیاز به انجام مطالعات بیشتر و دقیق‌تر وجود دارد. تحقیق حاضر تلاش می‌کند تا با واکاوی تجربهٔ بودجه‌ریزی مشارکتی در شهرداری تهران (طرح من شهردارم)، الزامات پیاده‌سازی حکمرانی مشارکتی در مدیریت شهری را شناسایی کند. این تحقیق با استفاده از روش‌های کیفی و کمی، به بررسی ابعاد مختلف این طرح، از جمله ساختارهای سازمانی، فرایندهای تصمیم‌گیری، نقش فناوری اطلاعات، و مشارکت شهروندان، خواهد پرداخت.

۷. روش‌شناسی

این مقاله با رویکردی تحلیلی ـ توصیفی به بررسی موضوع تغییر نسل دولت با تأکید بر تغییر ساختار و ماهیت سازمانی می‌پردازد. برای گردآوری اطلاعات، از منابع کتابخانه‌ای، مقالات علمی، گزارش‌های دولتی، و اسناد مرتبط استفاده شده است. همچنین، با بررسی مطالعات موردی و تجربیات کشورهای مختلف، تلاش شده است تا الگوها و روندهای موفق در زمینهٔ تغییر نسل دولت شناسایی شوند. هدف این تحقیق، ارائهٔ تصویری جامع از ابعاد مختلف تغییر نسل دولت، شناسایی چالش‌ها و فرصت‌های مرتبط با آن، و ارائهٔ پیشنهادهایی برای بهبود عملکرد دولت در این زمینه است. این مقاله به دنبال ارائهٔ راهکارهای عملی و قابل اجرا برای سیاستگذاران و مدیران دولتی است تا بتوانند با آگاهی بیشتر و برنامه‌ریزی دقیق‌تر، فرایند تغییر نسل دولت را مدیریت کنند. در نهایت، تلاش شده است تا با زبانی ساده و قابل فهم، یافته‌های تحقیق به جامعهٔ گسترده‌تری از مخاطبان ارائه شود.

۸. شرح مختصری از طرح «من شهردارم»

طرح «من شهردارم» به عنوان یک ابتکار در شهرداری تهران، با هدف جلب مشارکت شهروندان در تعیین اولویت‌های پروژه‌های محلی و تخصیص بخشی از بودجهٔ شهری به این پروژه‌ها، اجرا شده است [۳۹]. این طرح، که می‌توان آن را به عنوان یک نمونه از بودجه‌ریزی مشارکتی و بودجه‌ریزی شهروندی در سطح محلی تلقی کرد، تلاش دارد تا با ایجاد نوعی سازوکار دموکراتیک، شهروندان را در فرایند تصمیم‌گیری دربارهٔ نحوهٔ صرف منابع عمومی سهیم کند. هدف اصلی طرح من شهردارم، افزایش شفافیت، پاسخ‌گویی، و کارآمدی در مدیریت شهری و همچنین، تقویت حس تعلق و مسئولیت‌پذیری شهروندان نسبت به شهر خود است. ادبیات مربوط به طرح «من شهردارم» عمدتاً شامل گزارش‌ها، دستورالعمل‌ها و مصاحبه‌های منتشرشده توسط شهرداری تهران و رسانه‌های داخلی است. طرح «من شهردارم» طرحی برای مشارکت مردم در ادارهٔ پایتخت در دورهٔ جدید مسئولیت شهری و فرصتی برای تبدیل شدن شهرداری تهران از یک «نهاد خدماتی» صِرف به یک «نهاد خدمتگزارِ اجتماعی، مردمی، جهادی و انقلابی، پیشرو» و از نظر ساختار و روش، به‌شدت مشارکت‌پذیر است.

از بعد نظری، طرح من شهردارم ریشه در اندیشه‌های دموکراسی مشارکتی و حکمرانی خوب دارد. این اندیشه‌ها بر اهمیت مشارکت شهروندان در فرایندهای تصمیم‌گیری جمعی، ایجاد سازوکارهای شفاف و پاسخ‌گو، و توزیع عادلانه منابع بر اساس

نیازها و اولویت‌های جامعه تأکید دارند. مدل اجرایی طرح من شهردارم شامل مراحل زیر است: (۱) اطلاع‌رسانی و دعوت از شهروندان برای ثبت‌نام و شرکت در طرح؛ (۲) جمع‌آوری ایده‌ها و پیشنهادهای شهروندان از طریق سامانه‌های الکترونیکی و جلسات حضوری؛ (۳) بررسی فنی و ارزیابی پیشنهادها توسط کارشناسان شهرداری؛ (۴) رأی‌گیری شهروندان روی پیشنهادهای برتر؛ و (۵) اجرای پروژه‌های منتخب توسط شهرداری [۴۰].

این طرح به گونه‌ای طراحی شده که شهروندان با مراجعه به سامانهٔ مجازی manshahrdaram.tehran.ir و انتخاب منطقه و ناحیهٔ مورد نظر خود، می‌توانند علاوه بر اولویت‌بندیِ پروژه‌های مکان‌محورِ مندرج در سامانه (برای تخصیصِ عدالت‌محور بودجه)، به ثبت ایده‌ها و طرح‌های ابتکاری و خلاقانهٔ خود در راستای بهبود زیست‌پذیری شهری نیز اقدام کنند. شایان یادآوری است طرح‌های پیشنهادشده در سامانهٔ «من شهردارم»، پس از طی مراحل متعدد غربالگری، توسط کارشناسان زبدهٔ مدیریت شهری، از میان چندین هزار طرحِ به‌اشتراک‌گذاشته‌شده انتخاب شده‌اند.

گزارش آماری دورهٔ سوم طرح «من شهردارم» و مقایسهٔ آن با دوره‌های قبل، در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. گزارش آماری از طرح من شهردارم طی سه دوره

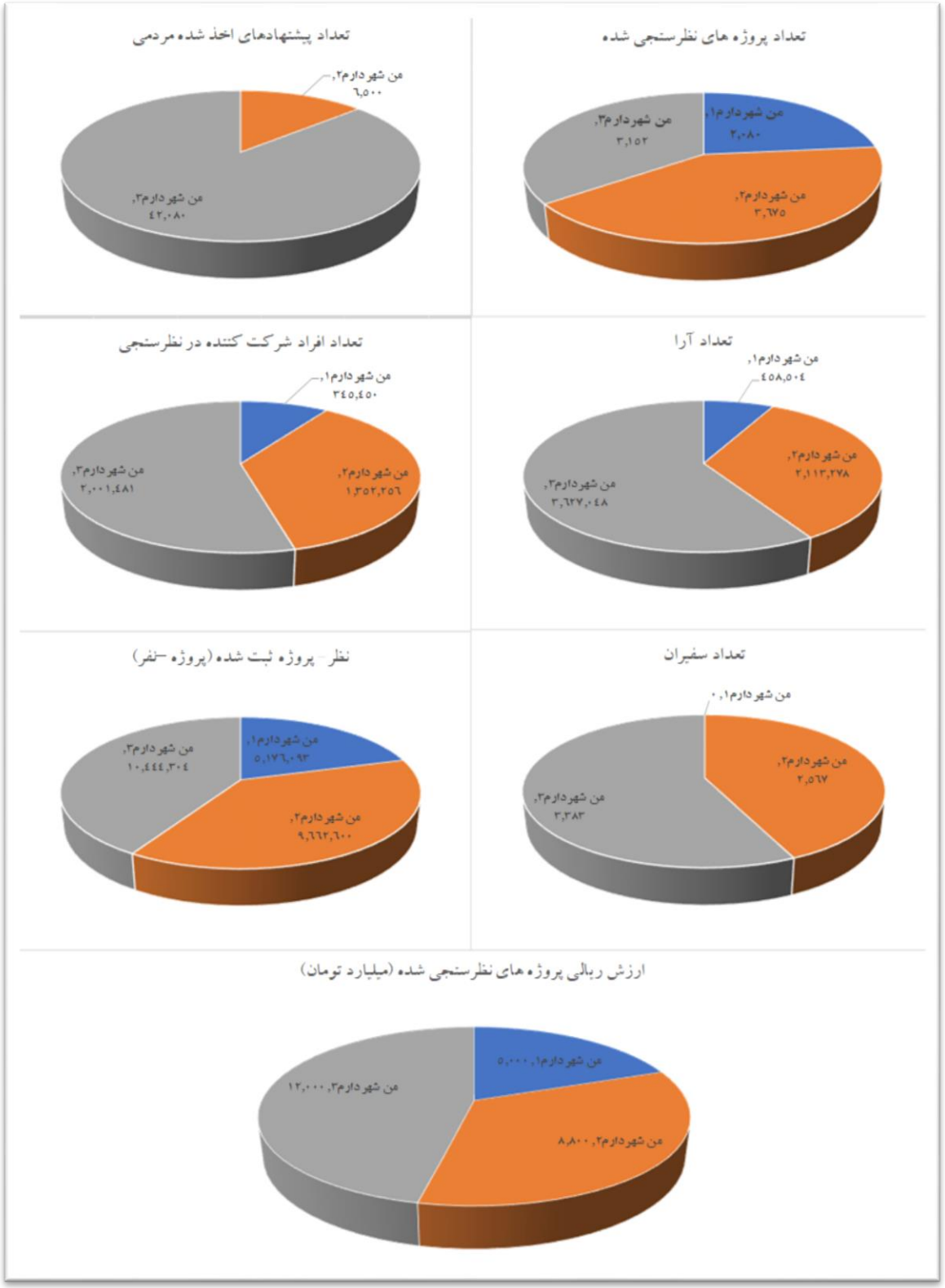
	من شهردارم ۱	من شهردارم ۲	من شهردارم ۳
تعداد پیشنهادهای اخذشدهٔ مردمی	-	۶,۵۰۰	۴۲,۰۸۰
تعداد پروژه‌های نظرسنجی‌شده	۲,۰۸۰	۳,۶۷۵	۳,۱۵۲
ارزش ریالی پروژه‌های نظرسنجی‌شده (میلیارد تومان)	۵,۰۰۰	۸,۸۰۰	۱۲,۰۰۰
تعداد پروژه‌های منتخب مردمی	۱,۴۶۲	۲,۹۵۶	۲,۳۴۸
ارزش ریالی پروژه‌های منتخب مردمی (میلیارد تومان)	۳,۹۲۴	۷,۱۰۰	۹,۰۰۰
تعداد افراد شرکت‌کننده در نظرسنجی	۶۴۵,۴۵۰	۱,۳۲۵,۲۵۶	۲,۰۰۱۴۸۱
تعداد آرا	۴۵۸,۵۰۴	۲,۱۱۳,۲۷۸	۳,۶۲۷,۰۴۸
نظر- پروژهٔ ثبت‌شده (پروژه – نفر)	۵,۱۷۶,۰۹۳	۹,۶۶۲,۶۰۰	۱۰,۴۴۴,۳۰۴
پیام‌های مکتوب انتقاد (۱۳۷+)	-	۹۹	۹۳
تعداد سفیران	-	۲,۵۶۷	۳,۳۸۳

همچنین در شکل ۱، اجرای طرح من شهردارم در ابعاد مختلف طی سه دوره برگزاری در هفت شاخص با یکدیگر مقایسه شده است.

در دورهٔ اول من شهردارم که سال ۱۴۰۱ به اجرا درآمد، تعداد ۳۴۵ هزار و ۴۵۰ نفر از شهروندان شرکت کردند. شرکت‌کنندگان در این مرحله، از میان ۲۰۸۰ پروژهٔ کارشناسی‌شده، تعداد ۱۴۶۲ پروژه را انتخاب کردند و شهرداری تهران نیز برای اجرایی‌سازی این حجم از پروژه‌ها، اعتبار ۳ هزار و ۹۲۴ میلیارد تومانی تخصیص و پروژه‌ها به طور کامل اجرا و افتتاح شده است.

در دورهٔ دوم این طرح که سال ۱۴۰۲ به اجرا درآمد، موج فزاینده و قابل اعتنایی از مشارکت مردم پدید آمده است؛ به گونه‌ای که در پایان طرح، ۱ میلیون و ۳۵۲ هزار و ۲۵۶ نفر از شهروندان تهرانی در آن مشارکت کرده‌اند. شهروندان در این دوره، در گام اول اقدام به ایده‌پردازی و ارائه طرح‌های محلی کرده‌اند که به این واسطه تعداد ۶۵۰۰ پیشنهاد به صورت مستقیم توسط مردم در سامانه ثبت شد. در مرحلهٔ بعد با بررسی کارشناسی طرح‌های پیشنهادی مردم و تجمیع و یکپارچه‌سازی با پروژه‌های شهرداری، تعداد ۳۶۷۵ پروژه به رأی‌گیری عمومی گذاشته و ۲۹۵۶ پروژه منتخب شد. برای اجرایی‌سازی طرح‌هایی که حداکثر آرای مردمی را به خود جلب کرده اعتبار ۷ هزار و ۱۰۰ میلیارد تومانی تخصیص داده شده که تا نیمهٔ نخست سال ۱۴۰۲ بیش از ۴۷ درصد از این پروژه‌ها نیز به طور کامل اجرا و افتتاح شده است.

در دورهٔ سوم طرح «من شهردارم» که در سال ۱۴۰۳ اجرا شد، علاوه بر تأکید بر روش قبلی که توفیقات بسیار خوبی را برای شهر، شهروندان و مدیریت شهری داشته است، نسبت به تعامل چهره‌به‌چهره (مراجعهٔ حضوری و ... برای سهولت مشارکت برخی از شهروندان گرانقدر شهر تهران) مدیریت شهری با شهروندان، اقدامات مکفی لحاظ می‌شود تا پیوستگی بیشتری بین مدیریت شهری و مردم به ارمغان آورد. در این طرح، ۱۰ میلیون و ۴۴۳ هزار و ۳۰۴ پروژه- نفر ثبت شد و ۹ هزار میلیارد تومان به پروژه‌های منتخب مردمی تخصیص داده شد و ۳ میلیون ۶۲۷ هزار و ۴۸ نفر تعداد آرا ثبت شد.



شکل ۱. اجرای طرح «من شهردارم» در ابعاد مختلف طی سه دورهٔ مختلف

۹. نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی الزامات پیاده‌سازی حکمرانی مشارکتی در مدیریت شهری از طریق مطالعهٔ موردی طرح «من شهردارم» در شهر تهران انجام شد. یافته‌های این پژوهش، اگرچه محدود به یک مورد خاص است، اما می‌تواند بینش‌های ارزشمندی را در اختیار سیاستگذاران، مدیران شهری و پژوهشگران علاقه‌مند به حوزهٔ حکمرانی مشارکتی قرار دهد. نتایج کلیدی این تحقیق موارد زیر است:

- افزایش اعتماد عمومی
- ایجاد بستر مشارکت شهروندان
- افزایش اعتماد شهروندان به مدیریت شهری
- آگاه‌سازی مأموریت شهرداری تهران
- کاهش فساد به دلیل مواجه شدن شهروندان در فرایند تصمیم‌گیری
- افزایش مشارکت شهروندان
- تقویت شفافیت و پاسخ‌گویی
- بهبود توزیع منابع
- ارتقای حس تعلق و هویت شهری
- افزایش کارایی و اثربخشی پروژه‌ها
- توسعهٔ پایدار شهری

بر اساس یافته‌های این پژوهش، پیشنهادهای زیر برای بهبود پیاده‌سازی حکمرانی مشارکتی در مدیریت شهری ارائه می‌شود:

- توسعهٔ سازوکارهای مشارکت: ایجاد و توسعهٔ سازوکارهای متنوع و فراگیر برای مشارکت شهروندان در فرایندهای تصمیم‌گیری و اجرا، از جمله برگزاری جلسات مشورتی، نظرسنجی‌های عمومی، ایجاد سامانه‌های آنلاین برای دریافت پیشنهادها و انتقادها، و تشکیل شوراهای محلی.
- افزایش شفافیت: شفاف‌سازی فرایندهای تصمیم‌گیری و اجرا، انتشار اطلاعات مربوط به بودجه، پروژه‌ها و عملکرد مدیریت شهری، و پاسخ‌گویی به سؤالات و ابهامات شهروندان.
- تقویت اعتماد عمومی: تلاش برای جلب اعتماد شهروندان از طریق ارائهٔ خدمات با کیفیت، رعایت حقوق شهروندی، مبارزه با فساد، و عمل به وعده‌ها.
- توانمندسازی شهروندان: آموزش و توانمندسازی شهروندان برای مشارکت فعال و مؤثر در فرایندهای تصمیم‌گیری و اجرا، از جمله برگزاری دوره‌های آموزشی، کارگاه‌ها و سمینارها در زمینهٔ حقوق شهروندی، مدیریت شهری و حکمرانی مشارکتی.
- ارزیابی و بازخورد: ارزیابی مستمر طرح‌های مشارکتی و دریافت بازخورد از شهروندان و ذی‌نفعان، به منظور شناسایی قوت‌ها و ضعف‌ها و اعمال اصلاحات لازم.
- توسعهٔ زیرساخت‌های فناوری: استفاده از فناوری‌های نوین برای تسهیل مشارکت شهروندان، از جمله ایجاد سامانه‌های آنلاین برای دریافت پیشنهادها و انتقادها، برگزاری نظرسنجی‌های آنلاین، و ارائهٔ اطلاعات مربوط به پروژه‌ها و عملکرد مدیریت شهری.
- تقویت همکاری بین‌بخشی: ایجاد و تقویت همکاری بین‌بخشی بین سازمان‌های دولتی، نهادهای مدنی، بخش خصوصی و دانشگاه‌ها، به منظور استفاده از ظرفیت‌ها و تجربیات مختلف برای حل مسائل شهری.

پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی نیز مواجه بود. تمرکز بر یک مورد خاص (طرح «من شهردارم» در شهر تهران) و عدم امکان تعمیم یافته‌ها به سایر شهرها و طرح‌ها، از جملهٔ این محدودیت‌هاست. همچنین، عدم دسترسی به اطلاعات آماری دقیق و جامع در مورد طرح «من شهردارم»، امکان تحلیل عمیق‌تر و دقیق‌تر را محدود کرد.

منابع

1. Jane A, Doe B, Lee C. The Future of Local Governance: Citizen Engagement in Urban Planning. J Public Adm. 2025;42(3):210-235.
2. Smith J, Jones K. Enhancing Local Democracy through Participatory Approaches: A Comparative Study. Urban Gov Rev. 2024;15(1):45-67.
3. Garcia M. Digital Platforms and Citizen Participation in Local Government. Int J E-Gov. 2025;10(2):150-172.
4. Stoker G. Governance as theory: five propositions. International Social Science Journal. 1998;50(3):337-346.
5. Osborne D, Gaebler T. Reinventing Government: How the Entrepreneurial Spirit is Transforming the Public Sector. Addison-Wesley; 1992.
6. Innes JE, Booher DE. Planning processes and the management of complexity. Working Paper No. 716. Institute of Urban and Regional Development, University of California, Berkeley; 1999.
7. Pateman C. Participation and Democratic Theory. Cambridge University Press; 1970.
8. Fung A, Wright EO. Deepening Democracy: Institutional Innovations in Empowered Participatory Governance. Politics & Society. 2003;31(1):5-41.
9. Rhodes RAW. Understanding Governance: Policy Networks, Reflexivity and Accountability. Open University Press; 1997.
10. Habermas J. The Structural Transformation of the Public Sphere: An Inquiry into a Category of Bourgeois Society. MIT Press; 1989.
11. Arnstein SR. A Ladder of Citizen Participation. Journal of the American Institute of Planners. 1969;35(4):216-224.
12. Lowndes V, Pratchett L, Stoker G. Trends in Public Participation: A Discussion Paper. York: Joseph Rowntree Foundation; 2001.
13. Huxham C, Morrisey J. Collaborating with external agencies: lessons in social capital. Public Management Review. 2007;9(3):357-375.
14. Smith J, K. L. M. A., & R. S. T. U. V. The evolving landscape of urban governance: Participatory budgeting as a key driver for sustainable development. City Planning Review. 2024;15(2):112-128.
15. Jones AB, Brown CD. Implementing participatory urban management: Lessons from global experiences. J Urban Aff. 2025;42(3):345-360.
16. Hall P. Great planning disasters. Weidenfeld and Nicolson; 1980.
17. Giffinger R, Fertner C, Kramar H, Kalasek R, Pichler-Klausner J, Sciurba F. Smart city ranking: an innovative multidimensional index. Vienna University of Technology; 2007.
18. Kitchin R. The real-time city? Big data and urban studies. GeoJournal. 2014;79(1):71-76.
19. Brundtland Commission (World Commission on Environment and Development). Our Common Future. Oxford University Press; 1987.
20. Register R. Ecocities: Garden Cities for the 21st Century. Madrona Publishers; 1987.
21. Wang L, Zhang H, Li Y. Citizen Participation in Budgeting: Evidence from Local Government Reforms in Asia. J Budget Public Financ. 2024;38(2):112-130.
22. Chen P, Lee S. The Impact of Participatory Budgeting on Local Service Delivery and Community Engagement. Urban Aff Rev. 2025;60(4):550-575.
23. Davis R. Leveraging Digital Technologies for Participatory Budgeting: Challenges and Opportunities. Gov Inf Q. 2024;41(1):Article 101805.
24. Sintomer Y, Herzberg C, Röcke A, Allegretti G. Participatory Budgeting in Europe: Potentials and Challenges. VS Verlag für Sozialwissenschaften; 2008.
25. Baiocchi G. Radicals in Power: The Workers' Party (PT) and Experiments in Urban Democracy in Brazil. Zed Books; 2003.
26. Shah A, editor. Participatory Budgeting. Public Sector Governance and Accountability Series. World Bank; 2007.
27. Habermas J. The Structural Transformation of the Public Sphere: An Inquiry into a Category of Bourgeois Society. MIT Press; 1989.
28. Rawls J. A Theory of Justice. Harvard University Press; 1971.

29. Cabannes Y. Participatory Budgeting: A Significant Contribution to Participatory Democracy. UN-HABITAT; 2004.
30. Goldfrank B. Deepening Local Democracy in Latin America: Participatory Budgeting. Institute for International Education; 2011.
31. Miller S, Brown A. Empowering Citizens: The Role of Citizen Budgeting in Local Government Accountability. Public Financ Q. 2024;46(3):301-325.
32. Williams R. Citizen Budgeting as a Tool for Democratic Governance and Service Improvement. J Urban Aff. 2025;40(1):78-99.
33. Taylor L, Clark P. Digital Strategies for Enhancing Citizen Engagement in Budgetary Processes. Int J Public Sect Manag. 2024;37(5):610-633.
34. OECD. OECD Principles on Water Governance. OECD Publishing; 2015.
35. Nabatchi T, Sancino A, Sicilia M. Varieties of Participation in Public Services: The Who, When, Why, and How of Citizen Involvement. Public Management Review. 2017;19(5):639-661.
36. Lee J, Kwak YH. An Open Government Implementation Model: Moving towards Integrated Public Service. Government Information Quarterly. 2012;29(4):492-503.
37. Hosseini S, et al. Investigation of Tehran citizens' experience in the "My Mayor" plan. Scientific-Promotional Journal of City and Citizenship. 2019;7(26):56-78. [persian]
38. Ahmadi M, et al. Organizational and cultural barriers to implementing participatory governance in Tehran Municipality. Scientific-Research Quarterly of Urban Management. 2020;12(45):123-145. [persian]
39. Tehran Municipality. Executive Directive of the "My Mayor" Plan. 2016. [persian]
40. Tehran Municipality. Performance Report of the "My Mayor" Plan. 2017. [persian]

Urban Development Policy Making

Home Page: https://judpm.ir

Online ISSN: 3092-6564

The Concentration Trap and Tehran's Water Crisis: Impact of Socio-Economic Agglomeration and Population Growth on the Instability of Urban Drinking Water Resources

Majid Sayyari

Senior Water Resources Expert. Email: sayyari.majid@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 24 July 2025
Revised 02 September 2025
Accepted 02 November 2025
Published Online 01 January 2026

Keywords:
Carrying capacity,
Concentration trap,
Population,
Tehran,
Water resources,
Water security.

ABSTRACT

This paper addresses the critical challenges of water scarcity in the Iranian capital. Unlike many global metropolises, Tehran was not originally established in proximity to sufficient water resources. The excessive concentration of socio-economic, cultural, and political activities has been the primary driver of rapid population growth and uncontrolled urban sprawl, placing local water supplies under severe stress. Consequently, Tehran has evolved into a city chronically dependent on inter-basin water transfers. This study demonstrates that centralization and unchecked population growth are the paramount factors exacerbating the water crisis. Despite a provincial population exceeding 14 million (approximately 9 million within the city), the province's water carrying capacity is estimated at only 2.5 million people. This demographic overburden has resulted in Tehran—hosting 11% of the national population—consuming nearly 17% of the country's total urban water. Rather than advocating for supply-side expansion, this article emphasizes consumption management, demand-side strategies, and efficiency enhancement. The proposed strategies include halting new developmental loads, reducing existing pressures, managing demand drivers, and improving water use efficiency. Ultimately, the paper concludes that Tehran's water crisis is a national challenge requiring a decisive national commitment. Decentralization and population relocation are proposed as the fundamental long-term solutions to the capital's water insecurity.

Cite this article: Sayyari, M. (2026). The Concentration Trap and Tehran's Water Crisis: Impact of Socio-Economic Agglomeration and Population Growth on the Instability of Urban Drinking Water Resources. *Urban Development Policy Making*, 3 (1), 113-133. DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.545869.1061

© Majid Sayyari
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.545869.1061

Introduction

Tehran, Iran's capital, is facing a severe and escalating water crisis. This issue, detailed in a study titled "The Centralization Trap and Water Scarcity Crisis in Tehran," highlights how the city's growth, unlike many other megacities, did not happen near sufficient water sources. The intense concentration of economic, social, and political activities has turned the city into an irresistible magnet, causing explosive population growth and putting immense pressure on local water resources. This has made Tehran a "bottomless pit," constantly needing water from neighboring regions. This research aims to analyze the city's water situation, forecast future trends, and propose strategic solutions to mitigate this crisis.

Materials and Methods

This study uses an analytical approach, examining the historical context of Tehran's development, its climate, and how water supply and demand have evolved. The methodology involves a thorough analysis of historical and current data from sources like the Ministry of Energy, the Meteorological

Organization, and the Iran Statistics Center. By tracking past and present trends, the research identifies and forecasts future threats if current water management practices continue, providing a strong foundation for understanding the causes and potential long-term consequences of the crisis.

Results

The findings show that Tehran's water crisis is primarily driven by extreme centralization and uncontrolled population growth, pushing the city's water resources past their limit. With a population of over 14 million in the province, Tehran far exceeds its estimated water carrying capacity of about 2.5 million people. As the national economic hub, Tehran's overpopulation is worsened by its role as a powerful "pull factor," attracting significant internal migration.

Tehran's water supply relies on five major dams and extensive groundwater extraction. However, a significant 37% reduction in average annual rainfall has led to an over-reliance on groundwater. The abstraction ratio has dangerously shifted; what was once 70% surface water and 30% groundwater has now reversed to as much as 70-90% groundwater. This excessive groundwater use has dire consequences: water tables drop by 1.5 meters annually, and land subsidence is reaching alarming rates in some areas.

Inefficient management also contributes to the crisis, with about 25% of drinking water lost to leaks and only 15% of wastewater being recycled. The transfer of water from other basins to Tehran also creates socio-economic and ecological conflicts in neighboring regions.

Discussion and Conclusion

The analysis reveals that Tehran's water crisis is a complex issue with natural, human, and managerial factors. The high concentration of people and activities, combined with a lack of local water and exacerbated by climate change, has driven demand to an unsustainable level. This has not only threatened Tehran's water security but has also destabilized the socio-economic balance of neighboring regions.

The article concludes that Tehran's water problem is a critical national challenge. Failure to address it with serious national resolve threatens the country's stability. The study strongly advocates for a change in approach, moving from simply increasing water supply to robust demand management and significant efficiency improvements.

To solve this crisis, the article proposes a range of short, medium, and long-term strategies:

Avoiding New Burdens: Implement a strict ban on new water connections and industrial permits, and prohibit satellite town developments.

Reducing Existing Burdens: Distribute water-saving devices, combat illegal water abstraction, and accelerate the development of wastewater treatment plants for reuse.

Managing Demand-Influencing Factors: Revise water tariffs, launch public education campaigns, and fundamentally, decentralize government and industrial organizations from Tehran to encourage migration out of the city.

Increasing Efficiency: Modernize the water network with smart systems for leakage detection and install advanced meters for remote reading.

Ultimately, the most fundamental solution identified is to reduce the concentration of both people and activities in Tehran. Without effective demand management and decentralization, the future for Tehran looks grim, with ongoing land subsidence, economic closures, and a cycle of unresolved planning issues. The urgency for action is paramount.

Ultimately, the most fundamental solution identified is to reduce the concentration of both people and activities in Tehran. Without effective demand management and decentralization, the future for Tehran looks grim, with ongoing land subsidence, economic closures, and a cycle of unresolved planning issues. The urgency for action is paramount.

پیشرفت شهری
سیاستگذاری
سایت نشریه: https:// judpmi.ir
شاپا الکترونیکی: ۶۵۶۴-۳۰۹۲

تلهٔ تمرکز و بحران بی‌آبی در تهران: تأثیر تجمع جذابیت‌های اقتصادی ــ اجتماعی و رشد جمعیت بر ناپایداری منابع آب شرب شهری

مجید سیّاری

کارشناس ارشد منابع آب. رایانامه: sayyari.majid@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱

کلیدواژه:
امنیت آبی،
تهران،
تلهٔ تمرکز،
جمعیت،
ظرفیت بُرد،
مدیریت منابع آب.

چکیده

مقالهٔ پیش رو به بررسی چالش‌های جدی کمبود آب در پایتخت ایران می‌پردازد. به خلاف بسیاری از کلان‌شهرها، تهران از ابتدا در مجاورت منابع آبی کافی شکل نگرفته است. تمرکز بیش از حد فعالیت‌های اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و سیاسی در این شهر، عامل اصلی رشد بی‌رویهٔ جمعیت و گسترش بی‌مهار آن است که منابع آب محلی را به‌شدت تحت فشار قرار داده است. این وضعیت تهران را به شهری تبدیل کرده که پیوسته نیازمند انتقال آب از حوضه‌های مجاور است. مقالهٔ حاضر نشان می‌دهد تمرکزگرایی و رشد بی‌رویهٔ جمعیت، مهم‌ترین دلیل تشدید بحران آب تهران بوده و با وجود جمعیت بیش از ۱۴ میلیون نفری در استان تهران (حدود ۹ میلیون نفر در شهر)، ظرفیت بُرد آبی استان فقط حدود ۲/۵ میلیون نفر است. اضافه بار جمعیتی سبب شده که تهران با حدود ۱۱ درصد جمعیت کشور، تقریباً ۱۷ درصد از کل آب شهری کشور را مصرف کند. مقاله به عوض افزایش عرضه، بر مدیریت مصرف، مدیریت تقاضا و افزایش بهره‌وری تأکید می‌کند. راهبردهای پیشنهادی شامل پرهیز از بارگذاری جدید، کاهش بارگذاری موجود، مدیریت عوامل مؤثر بر تقاضا و افزایش بهره‌وری بوده و در نهایت نتیجه‌گیری می‌کند که مسئلهٔ آب تهران یک چالش ملی است که حل آن نیز به عزم جدی ملی نیاز دارد. کاهش تمرکز و انتقال جمعیت از تهران به عنوان راهکار اساسی برای حل مشکلات آبی پایتخت پیشنهاد شده است.

استناد: سیّاری، مجید (۱۴۰۵). تلهٔ تمرکز و بحران بی‌آبی در تهران: تأثیر تجمع جذابیت‌های اقتصادی ـ اجتماعی و رشد جمعیت بر ناپایداری منابع آب شرب شهری. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۳ (۱) ۱۱۳-۱۳۳.

DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.545869.1061

© مجید سیّاری
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.545869.1061

۱. مقدمه

استان تهران و مرکز آن، شهر تهران به عنوان پایتخت کشور، به‌جز ۲ درصد، باقی مساحت آن در حوضهٔ فلات مرکزی ایران واقع است. تمرکز فعالیت‌های اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، آموزشی و ... در این شهر، سبب ایجاد جاذبه‌های جدی در استقرار جمعیت و گسترش این شهر شده است. این در حالی است که شکل‌گیری تهران به خلاف بسیاری از شهرهای بزرگ دنیا، در جوار منابع آبی متناسب با آن نبوده و عواملی همچون موقعیت سوق‌الجیشی و تجاری، در رشد آن بیشترین تأثیر را داشته‌اند.

حضور جمعیت فعلی در این شهر و فعالیت‌های روزمرهٔ اداری، سیاسی، تجاری، فرهنگی، سلامت، آموزشی و... آن، تهران را به مرکزی بی‌بدلیل نه تنها در کشور و منطقه، بلکه شاید بتوان گفت که در سطح جهانی از منظر اثرگذاری بر دیگر نقاط کشور تبدیل کرده و بروز هر چالش در این شهر، بلافاصله در سطح کشور نمود خواهد داشت.

این در حالی است که منابع محلی آب برای پاسخ‌گویی به این جمعیت کفایت نداشته و طی چند دههٔ گذشته، متولیان با دست‌اندازی به حوضه‌های مجاور، برای تأمین آب شرب این شهر کوشیده‌اند، تلاشی که پایانی برای آن متصور نیست و تهران مانند چاه ویلی پرناشدنی، هر میزان آب را که در آن ریخته شود، بی‌وقفه و بی‌محابا، می‌بلعد.

ادامهٔ وضع موجود جز تشدید بیلان منفی بین منابع و مصارف در استان و شهر تهران ثمر دیگری ندارد و هرچه زمان بگذرد، شکاف بین منابع و مصارف بیشتر می‌شود. اینک شبکهٔ تأمین آب شرب این شهر در زیر فشار بارگذاری بیش از حد قد خم کرده و ناتوان از انجام وظایف، به نظاره نشسته است. با ادامهٔ این روند، پاسخ‌گویی به نیازهای آبی خیل عظیم جمعیت ساکن، با هیچ شیوه‌ای میسر نیست و عواقب اجتماعی و اقتصادی آن خارج از تصور است.

این مقاله با بررسی سابقهٔ شکل‌گیری تهران و گسترش حدود استان، به بررسی روند رشد تقاضای نیازهای آبی و منابع تأمین‌کنندهٔ آن می‌پردازد و آیندهٔ پیش رو را در ادامهٔ وضع موجود ترسیم می‌کند. در ادامه با بیان راه‌حل‌ها، شیوه‌های مقابله با چالش‌ها را پیشنهاد کرده تا برنامه‌ریزان و متولیان امور، بتوانند بر اساس آن‌ها شرایط را مدیریت کرده و شهر تهران را همچنان محلی **امن و قابل** اعتماد برای زندگی و کسب‌وکار به عنوان قلب سیاسی ـ اقتصادی کشور حفظ کنند.

پرسشی که مقالهٔ حاضر برای پاسخ آن می‌کوشد، این است که ادامهٔ وضع موجود، از منظر مدیریت منابع آب شهری، تهران را به کدام سو خواهد برد و در ادامه برای اجتناب از وضعیت نامطلوب آتی، راه حل‌ها کدام است؟

بدیهی است که مدیریت کلان‌شهری مانند تهران، به هماهنگی برنامه‌ها و دستگاه‌های متعدد ملی، استانی و شهری نیاز دارد. از سوی دیگر، مدیریت منابع آب نیز در هر سطح، امری بین‌رشته‌ای و با حضور ذی‌نفعان و متولیان مختلفی است که هر یک انگیزه‌ها و محرک‌های خاص خود را دارد که در بسیار موارد در تقابل با یکدیگر هستند.

از این‌رو، مدیریت شهری تهران از منظر تأمین و مدیریت آبی، بسیار پیچیده و نیازمند قوانین، اعتبارات، برنامه‌ریزی، طرح‌ها، آموزش، هماهنگی و ... کارآمد و مؤثر بوده و هر جزء تأثیرگذار در آن، باید بتواند وظیفهٔ خود را در چارچوب نقش‌آفرینی کلان‌شهری به‌خوبی ایفا کند.

به این‌منظور، لازم است که با تبیین وضع موجود و پیامدهای آن، راه‌حل‌های کارآمد برای اجتناب از شرایط نامطلوب آتی را ارائه کرد. مقالهٔ حاضر به این موارد می‌پردازد.

۲. چهارچوب نظری

۲–۱. مفاهیم کلیدی: تلهٔ تمرکز، ظرفیت برد، بحران آب شهری

تلهٔ تمرکز به عنوان یک چالش توسعه‌ای، زمانی شکل می‌گیرد که تمرکز بیش از حد منابع و فعالیت‌ها در یک شهر یا منطقه، باعث ایجاد ناکارآمدی‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی می‌شود و توسعهٔ متوازن منطقه‌ای را مختل می‌کند [۱]. این مفهوم در مطالعات اخیر برنامه‌ریزی شهری و اقتصاد فضایی به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه مورد توجه قرار گرفته است، جایی که پایتخت‌ها یا کلان‌شهرها به دلیل سیاست‌های متمرکزگرا، بار توسعه‌ای نامتناسبی را تحمل می‌کنند [۲].

ظرفیت بُرد به عنوان مرزی برای رشد جمعیت و مصرف منابع که با حفظ پایداری اکوسیستم هماهنگ است، تعریف می‌شود

[۳]. به بیان دیگر، ظرفیت بُرد مفهومی در بوم‌شناسی، مطالعات توسعهٔ پایدار و برنامه‌ریزی منابع است که به حداکثر تعداد جمعیت انسانی یا زیستی گفته می‌شود که یک محیط می‌تواند بدون تخریب بلندمدت منابع در خود جای دهد. این مفهوم امروزه در حوزه‌هایی مانند گردشگری، کشاورزی، توسعهٔ شهری و مدیریت منابع آبی نیز به کار می‌رود.

از منظر مدیریت منابع آب، ظرفیت بُرد منابع آب (WRCC[1]) ظرفیت تحمل منابع آب برای زندگی مردم منطقه و توسعهٔ اجتماعی و اقتصادی است[۴].

از سوی دیگر، بحران به عنوان پدیده‌ای تعریف می‌شود که به طور ناگهانی رخ می‌دهد، باعث اختلال شدید در عملکرد جامعه یا سیستم‌های انسانی می‌شود و فراتر از ظرفیت پاسخ‌گویی منابع محلی است. این رویکرد تأکید دارد که یک بحران فقط نوعی رویداد طبیعی نیست، بلکه نتیجهٔ اندرکنش میان خطر (hazard)، آسیب‌پذیری (vulnerability) و عدم آمادگی یا ظرفیت ناکافی مدیریت است [۵].

تعریف دیگر بحران، اختلال جدی در عملکرد یک جامعه یا اجتماع شامل خسارت‌های گستردهٔ انسانی، مادی، اقتصادی یا زیست‌محیطی است که از توانایی جامعهٔ آسیب‌دیده برای مقابله با استفاده از منابع و امکانات خود فراتر می‌رود [۶].

بنابراین، بحران آب را می‌توان به شرایطی اطلاق کرد که تلاش‌های محلی قادر به رفع آن و بازگرداندن سیستم‌های مربوطه به عملکرد عادی نیست و باید نیروهایی خارج از سامانه‌های محلی برای رفع بحران به کمک آیند.

باید توجه داشت که از منظر زمان، بحران‌هایی مانند سیل و زلزله در زمان‌هایی بسیار کوتاه واقع می‌شوند، ولی در مورد شرایط حادث‌شده برای آب در شهر تهران، مقیاس زمانی آن با زلزله و یا سیل متفاوت بوده، ولی شرایط پیش‌آمده سبب عملکرد نامطلوب سیستم شده است. همچنین، برای رفع آن باید عوامل غیر محلی به کار گرفته شوند. لذا می‌توان آن را بحران نامید، ولی در مورد کشور، هنوز می‌توان امیدوار بود که با تلاش‌های داخلی بتوان عملکرد آسیب‌دیدهٔ مدیریت منابع آب را به شرایط مطلوب بازگرداند و لذا شاید اطلاق بحران در سطح کشوری برای آب، نادرست باشد گرچه در بسیاری از مناطق، در سطح محلی، می‌توان شرایط موجود را بحران نامید.

۲-۲. مطالعات داخلی و بین‌المللی مرتبط

گزارش شهرهای دنیا برای سال ۲۰۲۲ [۱]، به مشکلات ناشی از تمرکز بیش از حد منابع و فعالیت‌ها در کلان‌شهرهای کشورهای درحال‌توسعه، مانند پایتخت‌ها، می‌پردازد. تمرکز بیش از حد باعث فشار بر زیرساخت‌ها، افزایش نابرابری‌های منطقه‌ای و مشکلات زیست‌محیطی می‌شود. نتیجه‌گیری گزارش این است که تمرکز بیش از حد، مانع توسعهٔ پایدار است که باید از طریق تمرکززدایی مدیریت شود. پیشنهادها شامل تقویت شهرهای اقماری، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های مناطق محروم و توسعهٔ سیاست‌های شهری پایدار است.

همچنین، در گزارش یادشده بر تمرکززدایی و سرمایه‌گذاری در شهرهای کوچک‌تر برای کاهش فشار بر کلان‌شهرها و دستیابی به توسعهٔ متوازن تأکید شده است.

گزارش OECD Regional Outlook 2021 [۱] به نابرابری‌های منطقه‌ای ناشی از تمرکز بیش از حد فعالیت‌های اقتصادی و تصمیم‌گیری در شهرهای بزرگ می‌پردازد. تمرکز در کلان‌شهرها باعث کاهش بهره‌وری کلی اقتصاد و محرومیت مناطق دیگر از توسعه می‌شود. نتیجه‌گیری گزارش این است که تمرکز بیش از حد به ناکارآمدی اقتصادی و اجتماعی منجر می‌شود. پیشنهادها شامل سیاست‌های تمرکززدایی، تقویت اقتصادهای محلی و ایجاد زیرساخت‌های دیجیتال برای کاهش وابستگی به مراکز اصلی است.

مقالهٔ تمرکززدایی و ابهامات سیاست‌های محلی در تهران [۷] به چالش‌های تمرکز بیش از حد در این شهر و تلاش‌ها برای تمرکززدایی از طریق طرح مدیریت یکپارچهٔ شهری (IUM) می‌پردازد. این مقاله می‌افزاید که تمرکز بیش از حد باعث افزایش دیوان‌سالاری، کاهش شفافیت، و فشار بر زیرساخت‌های تهران شده است. نتیجه‌گیری مقاله این است که تمرکززدایی می‌تواند سیاست‌گذاری شهری را بهبود دهد، اما با مقاومت‌های سیاسی مواجه است. پیشنهادها شامل انتخابات مستقیم شهرداران و تقویت شوراهای شهر برای کاهش تمرکز و افزایش مشارکت محلی است.

1. Water resources carrying capacity

۳. روش‌شناسی

در این مقاله، با نگاهی به پیشینهٔ شکل‌گیری شهر تهران و بررسی شرایط اقلیمی آن، روند رشد تقاضای آب و اقدامات انجام‌شده در این زمینه بررسی شده و پیامدهای ناشی از گسترش این شهر از منظر تأمین آب مورد بحث قرار گرفته است.

در این زمینه داده‌های مورد استفاده عمدتاً از وزارت نیرو، سازمان هواشناسی، وزارت جهاد کشاورزی و مرکز آمار ایران و سایر مراجع معتبر است که هریک به نوبهٔ خود معرفی خواهند شد.

سپس با توجه به این داده‌ها، روند شرایط از گذشته تا امروز تحلیل شده و تهدیدهای آتی در صورت ادامهٔ این روند تبیین شده است.

۴. تحلیل وضعیت موجود

۴–۱. شکل‌گیری و تحول شهر تهران

تهران پایتخت و بزرگ‌ترین شهر کشور از نظر جمعیت و مساحت است. در حفاری‌های سال ۱۳۹۳، در خیابان مولوی، اسکلت ۷ هزارسالهٔ زنی کشف شده[1] که نشان از تاریخچهٔ حضور و زندگی انسان در این عرصه است. کشف این اسکلت متعلق به دورهٔ نوسنگی، اطلاعات جدیدی در مورد قدمت تهران ارائه می‌دهد. اولین اشاره در تاریخ به این شهر، به عنوان یک آبادی کوچک با نام تورانگ در دوران اشکانیان (حدود ۲۵۰ قبل از میلاد تا ۲۲۴ میلادی) است که در دوران ساسانیان (۲۲۴ تا ۶۵۱ میلادی) به یک شهر مهم دینی و مذهبی تبدیل شده است. سپس، در دوران اسلامی این شهر رشد و گسترش یافته و در سدهٔ ۴ هجری، تهران به یکی از مراکز مهم اقتصادی و تجاری در نیمهٔ شمالی کشور تبدیل شد.

این روند ادامه داشته و در سدهٔ ۷ هجری تهران پایتخت سلسلهٔ سلجوقیان و بعدها در سال ۱۱۶۴ خورشیدی، پایتخت قاجاریه شد. از آن زمان رشد و توسعهٔ این شهر روند سریع‌تری گرفت؛ به صورتی که در دورهٔ پهلوی رشد صنعتی سبب گسترش قابل توجه آن شد.

امروزه، شهر تهران با بیش از ۹ میلیون نفر جمعیت بر اساس برآورد سال ۱۴۰۰ مرکز آمار، پرجمعیت‌ترین شهر کشور است. در این رابطه نکتهٔ بسیار مهم و قابل توجه، آن است که این شهر در کنار رودخانه یا منابع آب قابل توجه شکل نگرفته و رشد آن در ادوار تاریخ، بیشتر به لحاظ سوق‌الجیشی، سیاسی و صنعتی بوده است. در این توسعه، هیچ‌گاه توجهی به شرایط اقلیمی و به‌ویژه منابع آب مورد نیاز این شهر نشده که این روند غلط همچنان ادامه دارد.

۴–۲. منابع تأمین آب تهران

آب شهری تهران، از آب‌های سطحی توسط سدهای لار، ماملو، لتیان، امیرکبیر و طالقان و نیز آب‌های زیرزمینی از طریق چاه‌های حفرشده تأمین می‌شود. البته در سال‌های اخیر و به‌ویژه سال جاری، برخی منابع رودخانه‌های محلی هرچند با جریان اندک، به صورت بهنگام مورد استحصال قرار می‌گیرند و پس از فرایند تصفیه، وارد شبکهٔ شهری می‌شوند.

استان تهران با مساحتی حدود ۱۳۵۴۰ کیلومتر مربع [۸] و بارندگی متوسط سالانه حدود ۲۸۰ میلی‌متر [۹] بارشی به حجم ۳۸۰۰ م.م.م در سال را دریافت می‌کند. این بارش به طور متوسط طی سال‌های آبی ۱۴۰۰–۱۳۹۹ تا ۱۴۰۳–۱۴۰۲، ۲۲۹ میلی‌متر بوده که نشان‌دهندهٔ کاهشی حدود ۲۰ درصد است. صرف نظر از میزان این کاهش قابل توجه، نکتهٔ حائز اهمیت آن است که کاهش یادشده طی ۴ سال متوالی رخ داده است. به بیان دیگر، در صورتی که سال‌های کم‌بارش پشت سر هم واقع نمی‌شدند، اثر منفی آن روی تخلیهٔ ذخیرهٔ آبخوان‌ها و احجام ذخیره‌شدهٔ سدها، به مراتب کمتر بوده، ولی در شرایط حاضر، اثر نامطلوب مضاعفی به جای گذاشته است.

اثر دیگر کاهش بارش و در نتیجه، تقلیل جریان‌های ورودی به سدها، تلاش (هجوم) برای برداشت از منابع زیرزمینی به منظور جبران کمبود منابع آب سطحی است. اوایل دههٔ ۱۳۹۰ نسبت برداشت از منابع سطحی و زیرزمینی برای شرب تهران ۷۰

1. khabaronline.ir/xkwNY

به ۳۰ بوده که با کاهش جریان‌های سطحی و برداشت بیشتر از منابع زیرزمینی برای جبران آن، متوسط این نسبت از سال ۱۳۹۰ تا کنون، به طور متوسط به ۵۰ به ۵۰ تغییر یافته است.

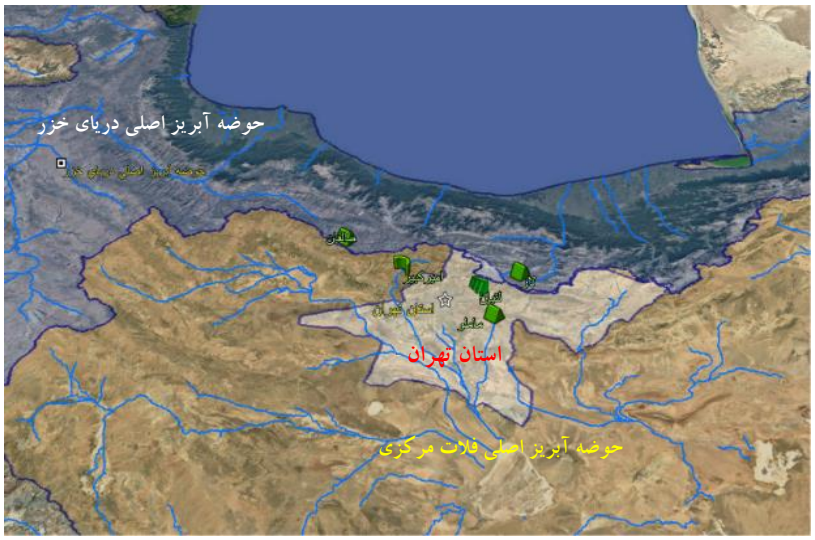
۴-۳. وضعیت مصرف، الگوهای تقاضا

از حدود ۳۹۰۰ میلیون مترمکعب آب برداشت‌شده از منابع سطحی و زیرزمینی در استان تهران، ۴۸ درصد به بخش شهری، ۵۰ درصد به بخش کشاورزی و صنایع وابسته، ۵ درصد فضای سبز و ۲ درصد به صنعت، خدمات و سایر مصارف، اختصاص دارد [۱۰].

این میزان از آب شهری، تقریباً معادل ۲۲ درصد مصارف آب شهری کل کشور است که نشان‌دهندهٔ تراکم بسیار زیاد و بیش از ظرفیت محدودهٔ کم‌آب استان تهران است.

سدهای لار و طالقان در حوضهٔ آبریز دریای خزر قرار دارند، در حالی که استان تهران در حوضهٔ آبریز فلات مرکزی واقع است. به بیان دیگر، انتقال آب از این دو سد به تهران، انتقال بین حوضه‌ای از منظر حوضه‌های آبریز اصلی کشور است.

در شکل ۱ نقشهٔ موقعیت تهران و سدهای ۵گانهٔ پیش‌گفته همراه با تقسیم‌بندی‌های حوضه‌های آبریز اصلی نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت سدهای پنج‌گانهٔ تهران در حوضه‌های آبریز درجهٔ ۲

بهره‌برداری از این سدها برای تأمین آب شرب تهران به این‌صورت است که آب از سد لار به تصفیه‌خانه‌های شرق تهران و بخشی نیز مخزن سد لتیان منتقل می‌شود.

سد ماملو نیز که در شرق تهران و پایین‌دست سد لتیان قرار دارد، ضمن انتقال آب به دشت ورامین، بخشی را نیز برای شرب تهران به یکی از تصفیه‌خانه‌های این شهر در شرق آن منتقل می‌کند.

سد امیرکبیر قدیمی‌ترین سد تهران است که بیش از ۶ دهه از عمر آن می‌گذرد. اهداف این سد، علاوه بر تأمین نیازهای زراعی و باغ‌های کرج، تأمین و انتقال آب برای شرب تهران نیز بوده است.

آخرین سد ساخته‌شده برای تهران، سد طالقان است که بر رودخانه‌ای به همین نام در حوضهٔ آبریز دریای خزر و از سرشاخه‌های سفیدرود واقع است. این سد علاوه بر تأمین نیازهای اراضی پایاب خود، انتقال آب به دشت قزوین برای کشاورزی، که شبکهٔ آن در اوایل دههٔ ۱۳۵۰ احداث شده است، به عهده دارد.

در دهه‌های اخیر با توجه به رشد بی‌رویه شهر تهران و افزایش تصاعدی مصارف آبی آن، سهم اختصاص‌داده‌شده برای کشاورزی از تمامی سدهای یادشده به‌تدریج کمتر و کمتر شده تا جایی که در چند سال اخیر می‌توان گفت که این انتقال بسیار ناچیز و تقریباً به صفر گراییده است.

از منظر آب زیرزمینی نیز همواره برداشت از این منابع نه تنها برای شرب، بلکه برای مقاصد کشاورزی در استان تهران رو به تزاید بوده است. هم‌اکنون تمامی دشت‌های تهران ممنوعه و ممنوعهٔ بحرانی هستند. با این‌حال به لحاظ اهمیت آب شرب، حفر

چاه‌های جدید برای این منظور متوقف نشده است. این در حالی است که برداشت از چاه‌های جدید، به دلیل تحلیل جدی توان دینامیک و حتی استاتیک آبخوان‌ها، در واقع از چاه‌های دیگر گرفته می‌شود، به طوری که این برداشت با کاهش دبی چاه‌های موجود در مجاورت آن‌ها همراه است.

در یک نگاه کلی کاملاً مشهود است که تأمین آب شهری تهران، به حوضه‌های مجاور و حقابه‌بران قدیمی در پایاب رودخانه‌ها و سدها، و نیز آبخوان‌ها، لطمات جبران‌ناپذیری وارد کرده است. هم‌اکنون تداوم تعطیلی کشت و زرع و وقوع فرونشست در استان تهران، به امری عادی تبدیل شده که هرازگاهی دربارهٔ آن‌ها صبحت، ولی به فاصلهٔ اندکی، به فراموشی سپرده می‌شوند.

این در حالی است که ادامه و تشدید آثار منفی این اقدامات، به صورت تهدید معیشت جوامع حقابه‌دار و نیز بروز خسارت‌ها جبران‌ناپذیر به تأسیسات شهری و املاک خصوصی نه تنها متوقف نشده، بلکه به صورت بسیار نگران‌کننده‌ای در حال رشد است.

در جدول ۱ تغییرات آبخوان‌های دشت‌های استان تهران و کسری حجم آبخوان‌های آن تا پایان شهریورماه ۱۴۰۱، نشان داده شده است.[۱]

جدول ۱. تغییرات آبخوان‌های دشت‌های استان تهران

نام دشت	تغییرات سطح آب زیرزمینی (متر)	کسری حجم مخزن (MCM/Year)
تهران ـ شهریار	-./۴۷	-۴۰/۴
ورامین	-۱/۱۵	-۷۱/۶۴
هومند آبسرد	-۲/۱۷	-۱۰/۷۸
فشافویه	-۰/۰۳	-۲/۴۷
قطعه چهار	-۰/۲۲	-۰/۹۹
مبارکیه	-۰/۳۴	-۳/۴۱
فیروزکوه	-۰/۰۳	۰/۱
دماوند	۰/۱۶	۰/۰۵
استان تهران (کل)	-۰/۵۶	-۱۲۹/۶۹

با توجه به اینکه برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، به ذخیرهٔ دینامیک این مخازن دست‌اندازی کرده است، نتیجهٔ آن به صورت فرونشست دیده می‌شود. در جدول ۲ نتایج تحقیقات انجام‌شده در مورد فرونشست در تهران [۱۱] در خصوص میزان فرونشست ارائه شده است.

جدول ۲. نتایج تحقیقات انجام‌شده در مورد فرونشست در تهران

استان	دشت/شهر	بازه زمانی	میزان فرونشست	مهم‌ترین عامل موثر بر فرونشست
تهران	دشت تهران	۲۰۰۳–۲۰۱۰	۱۳ سانتی‌متر در سال	برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی
	دشت تهران	۲۰۰۹–۲۰۱۰	۲۵ سانتی‌متر در سال	برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و وزن تاسیسات و بناها
	جنوب تهران	۲۰۱۰	۲۴ سانتی‌متر در سال	برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی
	جنوب غربی تهران	۲۰۱۱–۲۰۱۳	۳ سانتی‌متر در سال	برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی
	تهران	۲۰۱۴–۲۰۱۶	۱/۶ سانتی‌متر در سال	برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی، و وجود تونل‌های زیرزمینی خطوط ریلی مترو
	دشت تهران	۲۰۱۵–۲۰۱۷	۴۳ سانتی‌متر در سال	برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی
	شهریار	۲۰۰۳–۲۰۱۰	۲۷ سانتی‌متر در سال	برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی
	شهریار	۲۰۱۵–۲۰۲۰	۱۱ سانتی‌متر در سال	برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و وزن تاسیسات و بناها
	ورامین	۲۰۱۶–۲۰۱۹	۲۰ سانتی‌متر در سال	برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی

۱. آب منطقه‌ای تهران

۴-۴. رشد جمعیت و آثار تمرکز خدمات

مهم‌ترین عامل در اثرگذاری منفی بر منابع آب نه تنها در تهران، بلکه در کل کشور، افزایش جمعیت است. با توجه به معیارهای امنیت آبی و امنیت غذایی، حوضه‌های آبریز ظرفیت پذیرش جمعیت محدودی را بر اساس منابع طبیعی خود دارند. بارگذاری بیش از این ظرفیت، صرف‌نظر از سایر موارد، از منظر تهدید امنیت آبی و غذایی، بسیار نگران‌کننده است؛ به طوری که می‌توان گفت **رشد جمیعت (مازاد بر ظرفیت)، مادر تمامی مشکلات در حوضه‌های آبریز و فشار به منابع طبیعی و محیط زیست است.**

در ادامه، تعریف امنیت آبی [۱۲] و امنیت غذایی [۱۳] ارائه شده است.

امنیت آبی: توانایی یک جامعه برای حفاظت از دسترسی پایدار به مقادیر کافی آب با کیفیت قابل قبول، به منظور تأمین معیشت، رفاه انسانی، و توسعهٔ اجتماعی ـ اقتصادی، همراه با تضمین حفاظت در برابر آلودگی‌های ناشی از آب و بلایای مرتبط با آب و حفظ اکوسیستم‌ها در فضای صلح و ثبات سیاسی است.

مؤلفه‌های کلیدی امنیت آبی را بر اساس این تعریف می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

- دسترسی پایدار و کافی

تضمین تداوم تأمین آب برای نیازهای حیاتی انسان‌ها (شرب، بهداشت، کشاورزی، صنعت) طی زمان.

- کیفیت قابل قبول

اطمینان از مناسب بودن آب برای مصارف مختلف (عاری از آلاینده‌های شیمیایی و بیولوژیکی خطرناک).

- حفاظت زیست‌محیطی

حفظ سلامت زیست‌بوم‌های آبی (رودخانه‌ها، تالاب‌ها، آبخوان‌ها) به عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از چرخهٔ هیدرولوژیک.

- مدیریت ریسک

کاهش آسیب‌پذیری در برابر مخاطرات مرتبط با آب (سیلاب‌ها، خشکسالی‌ها، آلودگی).

- صلح و ثبات سیاسی

مدیریت همکاری‌جویانه منابع آب مشترک فرامرزی و جلوگیری از تبدیل آب به عامل تنش‌های اجتماعی یا بین‌الدولی

امنیت غذایی: دسترسی فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی همهٔ افراد در تمام اوقات به غذای کافی، سالم و مغذی که نیازهای غذایی و ترجیحات غذایی آن‌ها را برای یک زندگی فعال و سالم تأمین کند.

به طور مشابه آنچه برای امنیت آبی ذکر شد، چهار مؤلفهٔ کلیدی امنیت غذایی به شرح زیر است:

- موجود بودن غذا
  - تأمین غذا از طریق تولید داخلی، واردات، یا کمک‌های بین‌المللی.
  - شامل تنوع و کمیت کافی مواد غذایی در سطح ملی و محلی.
- دسترسی به غذا
  - توانایی افراد و خانوارها برای تهیهٔ غذای مورد نیاز از طریق منابع مالی (درآمد) یا دسترسی فیزیکی (زیرساخت‌های توزیع).
  - توجه ویژه به گروه‌های آسیب‌پذیر مانند فقرا و جوامع روستایی.
- بهره‌برداری از غذا
  - مصرف بهینهٔ مواد غذایی با رعایت اصول تغذیه‌ای، بهداشتی و سلامتی.
  - شامل دانش تغذیه‌ای، آب آشامیدنی سالم، و سیستم‌های بهداشتی.
- ثبات پایدار
  - تاب‌آوری سیستم غذایی در برابر شوک‌ها (مانند جنگ، تغییرات اقلیمی، یا بحران‌های اقتصادی)

- اطمینان از تداوم دسترسی به غذا در بلندمدت

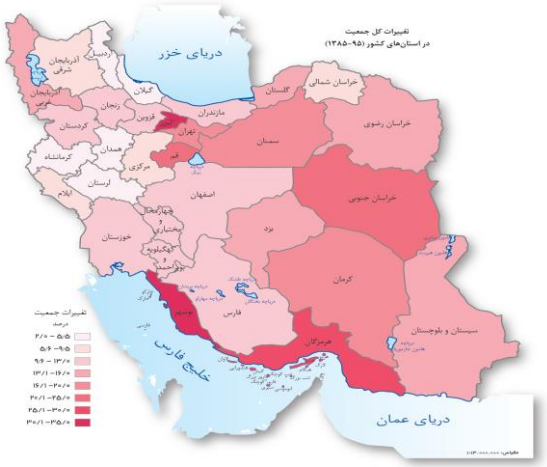
همان‌گونه که گفته شد، حجم کل بارش حادث‌شده در سطح استان، حدود ۳۸۰۰ میلیارد متر مکعب است. اگر حتی فرض شود (فرض محال) که تمامی این بارش به منابع تجدیدپذیر تبدیل شود، و از طرف دیگر سرانهٔ افراد ساکن در استان را بر اساس شاخص فالکن مارک[1]، ۱۵۰۰ مترمکعب در سال، که آستانهٔ تنش آبی است، در نظر گرفته شود، ظرفیت جمعیت‌پذیری استان حدود ۲/۵ نفر خواهد بود. این در حالی است که اگر واقع‌بینانه به موضوع نگریسته شود و میزان آب تجدیدپذیر استان حدود یک سوم بارش کل لحاظ شود، آن‌گاه جمعیت‌پذیری استان ظرفیتی بیش از حدود ۷۶۰ هزار نخواهد داشت. این در حالی است که هم‌اکنون بیش از ۱۴ میلیون نفر در این استان سکونت دارند.[2] سهم شهر تهران از این خیل عظیم، بر اساس سامانهٔ آماری استان، در سال ۱۴۰۴ حدود ۹ میلیون نفر است. این ارقام بسیار نگران‌کننده، خود نشان‌دهندهٔ وضعیت أسفناک بارگذاری بیش از حد جمعیت در استان و به‌ویژه شهر تهران است.

این خیل عظیم جمعیت، نیازمند مسکن، شغل، بهداشت، آموزش، حمل‌ونقل، فضای سبز استاندارد، آب، برق، سوخت، مواد خوراکی و... در مساحتی است که از منظر منابع و امکانات طبیعی، به‌هیچ‌وجه توانایی ارائهٔ چنین خدماتی را نداشته و ندارد.

در جدول ۳ روند افزایش جمعیت استان تهران و در شکل ۲ تغییرات کل جمعیت در استان‌های کشور (۱۳۹۵ ـ ۱۳۸۵) نشان داده شده است. با توجه به جدول و شکل یادشده، ملاحظه می‌شود که طی حدود ۵۰ سال گذشته جمعیت استان ۳ برابر شده و استان تهران در کنار بوشهر و هرمزگان بیشترین نرخ رشد جمعیت را نشان می‌دهند؛ به طوری که بر اساس اطلاعات مرکز آمار ایران، جمعیت تهران در دههٔ اخیر نسبت به جمعیت کل کشور در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۱۵، از ۱۶/۶۲ به ۱۷/۰۱ درصد افزایش می‌یابد.

جدول ۳. روند افزایش جمعیت استان تهران

سال	جمعیت استان تهران	مأخذ سرشماری یا برآورد
۱۳۵۵	۴,۹۸۱,۳۴۹	سرشماری رسمی
۱۳۶۵	۶,۹۲۴,۰۷۱	سرشماری رسمی
۱۳۷۵	۸,۹۵۸,۷۲۲	سرشماری رسمی
۱۳۸۵	۱۱,۳۴۵,۳۷۵	سرشماری رسمی
۱۳۹۵	۱۳,۲۶۷,۶۳۷	سرشماری رسمی
۱۴۰۳	۱۴,۴۲۵,۰۰۰	برآورد رسمی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان تهران[3]
۱۴۰۴	۱۴,۵۵۷,۰۰۰	برآورد سامانهٔ آماری استان تهران[4]



شکل ۲. تغییرات کل جمعیت در استان‌های کشور (۱۳۹۵ ـ ۱۳۸۵)

1. Falken mark Index

۲. به طریق مشابه و در نظر گرفتن حدود ۱۰۰ میلیارد مترمکعب آب تجدیدپذیر کل کشور و لحاظ سرانهٔ ۲۵۰۰ مترمکعب در سال (گرچه این عدد به لحاظ بدهکاری به آبخوان‌ها و محیط زیست بسیار دست‌پایین است و باید ارقام به مراتب بالاتری در نظر گرفت)، ظرفیت جمعیت‌پذیری کل کشور حدود ۴۰ میلیون نفر خواهد بود!

3. https://www.toseeirani.ir/fa/tiny/news-68590

4. https://amar.thmporg.ir

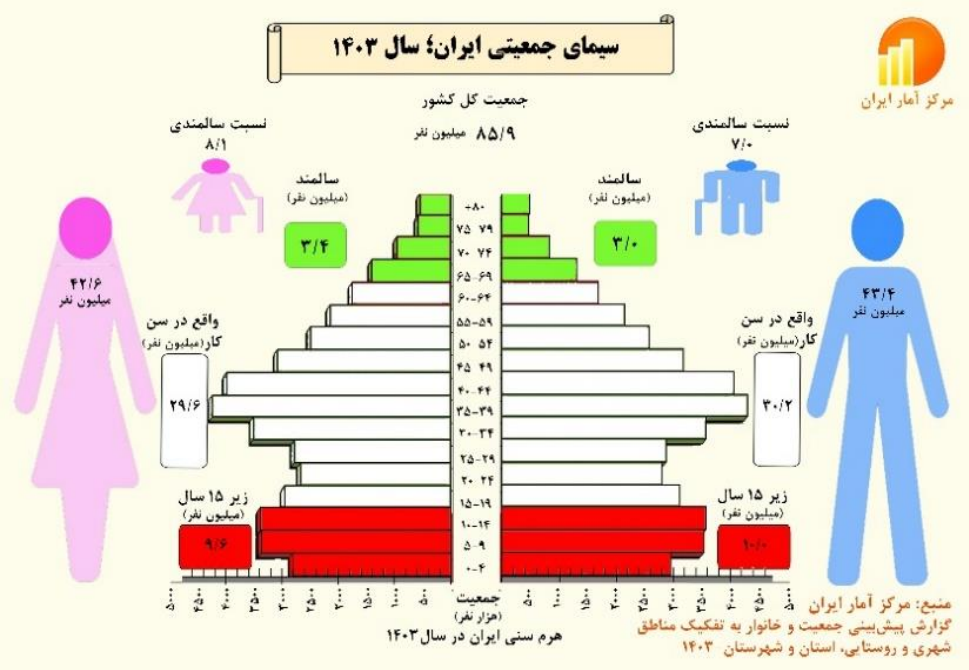
در جدول ۴ آب تولیدی شهری و روستایی در کل کشور در سال ۱۴۰۲ برای مصارف شهری و روستایی استان تهران و کل کشور، ارائه شده است [۱۴]. مشاهد می‌شود که کل آب تولیدی برای استان تهران حدود ۱۵۳۸ و کل کشور ۹۰۵۳ میلیون متر مکعب است. رقم اخیر تا سال گذشته به حدود ۹۲۰۰ میلیون مترمکعب رسیده[1] و پیش‌بینی می‌شود که هم‌اکنون حدود ۹۵۰۰ میلیون مترمکعب باشد.

جدول ٤. آب تولیدی شهری و روستایی در کل کشور در سال ۱۴۰۲

عنوان	منبع	واحد	شهری		روستایی	
			استان تهران	کل کشور	استان تهران	کل کشور
آب تولیدی	سطحی	میلیون مترمکعب	۵۷۹/۷۰	۲۹۲۴	۰	۳۹۱
	زیرزمینی		۸۹۴/۹۰	۴۰۴۱	۶۳/۲۰	۱۶۹۷

میزان آب شهری شهر تهران در سال ۱۴۰۲، معادل ۱۱۴۶ میلیون مترمکعب بوده است [۱۵]. به بیان دیگر در سال ۱۴۰۲، سهم آب شهری (شامل روستایی) استان تهران از کل آب شهری (شامل روستایی) کشور حدود ۱۷ درصد و نسبت استفاده شهر تهران از کل آب سطحی تأمین‌شده برای شرب در کل کشور، حدود ۲۰ درصد است.

با توجه به شکل ۳ سیمای جمعتی کشور در سال ۱۴۰۳، جمعیت کل کشور در سال ۱۴۰۳ حدود ۸۶ میلیون نفر بوده است که با توجه به جمعیت حدود ۹ میلیونی شهر تهران که پیش‌تر گفته شد، این نسب حدود ۱۰/۵ درصد است.



شکل ۳. سیمای جمعتی کشور در سال ۱۴۰۳

با توجه به حدود یکی دوسال پس و پیش بودن دسترسی به زمان اقلام آمارهای گفته‌شده، می‌توان گفت که جمعیت شهر تهران با حدود ۱۱ درصد نسبت به کل جمعیت کشور، مصرف‌کننده حدود ۱۷ درصد از منابع آب شهری است[2]. به بیان دیگر این ۶ درصد اضافی، نشان‌دهندهٔ اضافه مصرفی حدود ۴۰ درصد در این شهر نسبت جمعیت آن است.

1. https://rc.majlis.ir/fa/news/show/1841733

۲. در برخی مصاحبه‌های مسئولان و گزارش‌ها، این رقم تا ۲۵ درصد هم ذکر شده است.

نسبت بالاتر سهم آب شهری تهران در قبال جمعیت کل کشور، علاوه بر نشان دادن مصارف خانگی بالاتر، بیانگر تمرکز خدمات در شهر تهران و جمعیت شناور آن است.

دلیل اصلی حضور چنین جمعیتی در این محدوده که ظرفیت طبیعی برای آن ندارد، جذابیت‌های ایجادشدهٔ اقتصادی، سیاسی، اجتماعی، فرهنگی و ... است. به این‌صورت که همهٔ راه‌ها در تمامی فعالیت‌ها به تهران ختم می‌شود، فعالیت‌های کلان اقتصادی، امور پزشکی، دانشگاه‌های معتبر و تحصیلات عالیه، پایانهٔ سفرهای داخلی و خارجی، شغل‌های کاذب، سرمایه‌گذاری مسکن، فعالیت‌های فرهنگی، امور تجاری خرد، و ... همگی در تهران تمرکز یافته و انجام آن‌ها در سایر نقاط کشور، وابسته به شهر تهران هستند.

به بیان دیگر، بی‌اغراق می‌توان گفت که تمامی زیرساخت‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری در تمام بخش‌ها و فعالیت‌ها، در تهران تمرکز دارد. این موضوع نه تنها این شهر و بلکه کشور را در مقابله با حوادث طبیعی مانند زلزله و انسان‌ساز مانند جنگ، بی‌دفاع کرده است، بلکه در روند عادی روزمره نیز با فشار بر منابع طبیعی و محیط زیست، چنان فجایعی را رقم زده است که آثار آن کم از وقوع حوادث پیش‌گفته نیست. به عنوان مثال، فرونشست که از آن به عنوان زلزله خاموش یاد می‌شود، نه مانند زلزله و به صورت ناگهانی، بلکه به‌تدریج و خاموش، ولی رو به تزاید و پیش‌رونده، سازه‌های شهری را یکی پس از دیگری می‌بلعد.

حال اگر دوباره نگاهی به امنیت آبی ساکنان این استان داشته باشیم، به‌وضوح می‌توان گفت که ایشان دقیقاً فاقد این امنیت هستند. تعطیلی کسب‌وکارها در بخش کشاورزی در سال‌های اخیر و تعطیلی کل شهر تهران به دلیل بی‌آبی در ایام جاری (تیر و مرداد ۱۴۰۴)، گواه عدم امنیت آبی این شهر و استان است.

۴–۵. روند تغییرات منابع آبی و پیامدها

گسترش شهر تهران، تأمین بی‌وقفهٔ نیاز آبی آن را ولو به هر شیوه‌ای در دستور کار متولیان قرار داده است. اهمیت سیاسی پایتخت، حضور جمعیت قابل توجه و تمرکز فعالیت‌های اقتصادی، خدماتی، اجتماعی و ... سبب شده است که آب به هر قیمتی (ریالی و غیرریالی) و از هر منبعی (با هر فاصله و اختلاف ارتفاعی) برای این شهر تشنه تأمین شود. قطعی آب در بخش کوچکی از این شهر پهناور و پیامدهای ناشی از آن، نه فقط کابوس مدیریت شهری، بلکه کابوس مدیران ارشد نظام بوده و با هر ابزاری در صدد اجتناب از آن هستند. اقداماتی که سبب خالی شدن سدها، اضمحلال آبخوان‌ها و بروز پدیده‌های فرونشست و گرد و غبار شده است.

در این بین، همان‌طور که گفته شد، سد لار آب را از حوضهٔ آبریز دریای خزر به تهران منتقل می‌کند. این انتقال در یکی دو دههٔ اخیر محل چالش بین استان‌های مازندران و تهران بوده تا جایی که برای کمک به تأمین آب در دشت آمل، سد هراز مطالعه شده و هم‌اکنون در دست اجراست.

از سد طالقان نیز که دیگر سد انتقال‌دهندهٔ آب بین حوضه‌ای به تهران است، همواره سهم کشاورزی کاسته شده تا خللی در تأمین آب شرب کرج و تهران پیش نیاید، به طوری که در یکی دو سال اخیر تقریباً هیچ آبی از این رودخانه به قزوین که حقابه بر قدیمی طالقان (ولو بین حوضه‌ای و برای کشاورزی) است، تحویل نشده است.

سدهای لتیان، ماملو و کرج نیز در بهره‌برداری روندی مشابه را تجربه کرده‌اند. به بیان دیگر، با توجه به اولویت نیاز شرب و حساسیت‌های مترتب بر آن برای پایتخت، در کمبود منابع و رشد لجام‌گسیخته مصارف شهری، این نیاز زراعی بوده که همواره در اولین قدم قربانی شده است. بدیهی است که در اینجا سخن گفتن از تأمین نیاز حفاظت از محیط زیست، به عنوان مثال تالاب بند علیخان، محلی از اعراب ندارد.

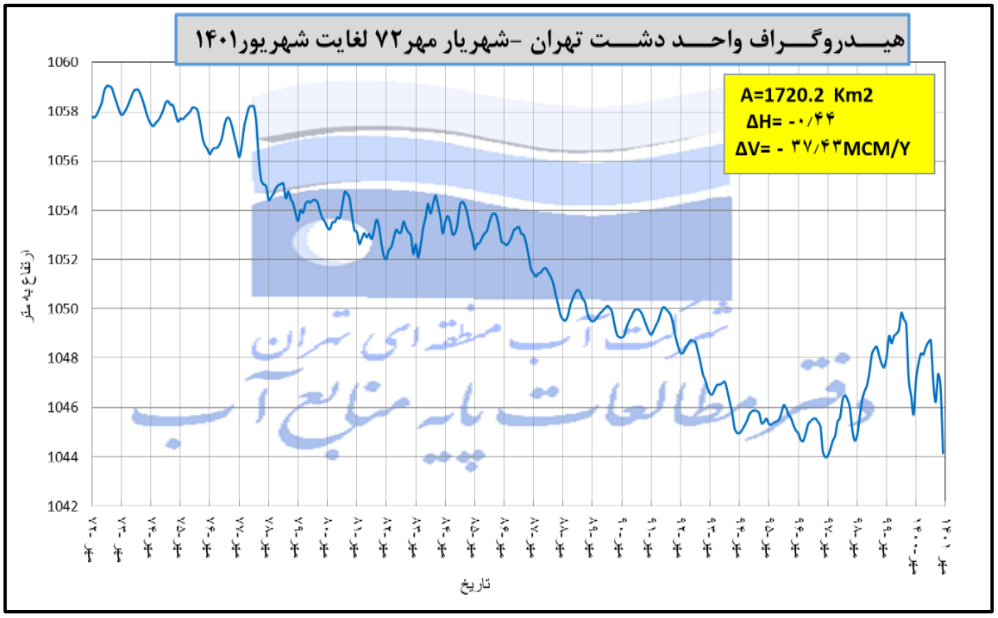
از سوی دیگر، علاوه بر منابع سطحی، سفره‌های آب زیرزمینی نیز از این هجوم و دست‌اندازی لجام‌گسیخته در امان نبوده است. افزایش نیاز از یک سو و کاهش منابع سطحی از سوی دیگر، سبب فشار بی‌حد به آبخوان‌ها شده تا جایی که تحکیم آن‌ها به شکل فرونشست خود را عیان کرده است؛ به این معنا که متولیان، در زیرزمین دریای بی‌پایانی از آب را متصور هستند که می‌توانند بدون هیچ محدودیتی از آن برداشت کنند. تصور و خیال باطلی که نتیجهٔ آن جز فرونشست و از دست رفتن همیشگی آبخوان‌ها، چیز دیگری نخواهد بود.

برداشت از سفره‌های زیرزمینی برای نیاز شهری تهران که در اوایل دههٔ ۱۳۹۰ حدود ۳۰ درصد از این تأمین را به عهده داشت[۱]، هم‌اکنون به ۶۰ درصد رسیده است[۲]. این در حالی است که با توجه به رشد رقم مطلق نیاز تهران، افزایش برداشت به مراتب بیش از دو برابر بوده است.

امید توسلی و همکاران [۱۶]، در سال ۱۳۹۸ بیان داشتند که ذخیرهٔ سفرهٔ تهران سالانه حدود ۱۱۰ میلیون مترمکعب کاهش داشته است.

بر اساس گزارش طرح مدیریت پایدار منابع و مصارف آب شرب استان تهران [۱۷] که به کارفرمایی آب منطقه‌ای تهران در سال ۱۴۰۱ منتشر شده، اضافه برداشت سالانه از منابع زیرزمینی استان ۱۳۰ میلیون مترمکعب است. خاطرنشان می‌سازد که مجموع برداشت از این منابع در گزارش یادشده، حدود ۲۵۶۰ میلیون مترمکعب است.

در شکل ۴ هیدروگراف دشت تهران ـ شهریار نشان داده شده که روند نزولی سطح آبخوان این دشت را نشان می‌دهد. رشد مقطعی سال‌های پایانی دورهٔ یادشده را شاید بیشتر بتوان به بارندگی‌های موضعی در ماه‌های معدودی از دورهٔ یادشده نسبت داد، گرچه اقدامات مرتبط با احیا و تعادل‌بخشی و عملکرد گروه‌های گشت و بازرسی را در این بین نمی‌توان نادیده گرفت.



شکل ٤. هیدروگراف دشت تهران ـ شهریار

با توجه به جدول ۳ روند افزایش جمعیت استان تهران، ملاحظه می‌شود که طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۳، حدود ۳ میلیون نفر به جمعیت استان اضافه شده، ولی هیچ منبع جدید سطحی وارد مدار نشده است؛ این به معنای فشار بیشتر بر منابع زیرزمینی و افزایش برداشت از منابع سطحی در قبال کاهش تأمین آب برای مقاصد زراعی از این منبع بوده که شکل ۴ نتایج نگران‌کننده این اقدامات را به‌خوبی نشان می‌دهد.

۵. بررسی تأثیر تمرکزگرایی و استقرار جمعیت

تمرکزگرایی و رشد جمعیت در تهران، پایتخت ایران، به دلیل جذابیت‌های اقتصادی، اجتماعی و فشار بر منابع، چالش‌های متعددی ایجاد کرده است. مقایسهٔ تهران با شهرهای کمترتوسعه‌یافته نشان می‌دهد تمرکز منابع در تهران، به نابرابری‌های منطقه‌ای، فشار بر خدمات شهری و ناپایداری زیست‌محیطی منجر شده است. توجه به این نکات، ضرورت سیاست‌های تمرکززدایی و مدیریت منابع را برجسته می‌کند و با گذشت زمان، اصلاح این وضعیت، سخت‌تر و بلکه بدون راه حل می‌شود.

---

۱. آب منطقه‌ای تهران

2. khabaronline.ir/xnPxq

۵–۱. نقش جذابیت‌های اقتصادی ــ اجتماعی

تهران، به عنوان مرکز اقتصادی ایران، حدود ۲۱ درصد از تولید ناخالص داخلی (GDP) کشور و رتبهٔ ۱ را در این زمینه بین استان‌های کشور (آمار سال ۱۴۰۰) دارد [۱۸]. این تمرکز ناشی از حضور بیش از ۶۰ درصد شرکت‌های بزرگ تجاری و صنعتی، ۷۰ درصد ادارات مرکزی دولتی، و حدود ۴۰ درصد از بازارهای مالی کشور در این شهر است [۱۹]. شهرک‌های صنعتی مانند پرند و بازارهای تجاری مانند بازار بزرگ تهران، فرصت‌های شغلی متنوعی برای نیروهای کار ماهر و غیرماهر فراهم کرده‌اند. نرخ اشتغال در تهران ۱۲ درصد بالاتر از میانگین ملی است [۲۰]، که این امر عامل مهمی در مهاجرت از شهرهای کمترتوسعه‌یافته بوده و آن را تسریع کرده است. دانشگاه‌های برتر کشور از جمله تهران و شریف، سالانه بیش از ۵۰ هزار دانشجو جذب می‌کنند [۲۱]، که مهاجرت نخبگان را تقویت کرده است.

تهران با بیش از ۲۰۰ مرکز فرهنگی، شامل موزه‌ها، سینماها و گالری‌های هنری، و بیش از ۱۵۰ پارک شهری مجهز، به مقصدی جذاب برای مهاجران تبدیل شده است [۲۲]، مناطق مرفه‌تر مانند با مراکز خدماتی، فرهنگی، تفریحی، بوستان‌ها، بیمارستان‌های مجهز و ...، جذابیت بیشتری برای جذب جمعیت دارند. تخمین زده می‌شود که بیش از نیمی از ساکنان برخی مناطق تهران مهاجران داخلی هستند که به دنبال سبک متفاوتی از زندگی شهری و دریافت خدمات بهتر به تهران آمده‌اند.

در مقابل، می‌توان گفت که شهرهایی مانند زاهدان، ایلام و یاسوج در این موارد فاصلهٔ زیادی با شهر تهران دارند. به بیان دیگر، تفاوت تهران و این شهرها در وجود جاذبه‌های محلی است، به طوری که تهران با امکانات مدرن، جذابیت بسیار بیشتری ایجاد کرده است.

این شکاف، مهاجرت به تهران را تشدید کرده است. برای مثال، کمبود بیمارستان در ایلام (۱۳ بیمارستان تحت پوشش دانشگاه علوم پزشکی ایلام) در مقایسه با تهران (۱۷۸ بیمارستان تحت پوشش دانشگاه‌های علوم پزشکی تهران، شهید بهشتی و ایران) [۲۳] از دلیل مهاجرت است. از منظر بین‌المللی، آلمان با توسعهٔ زیرساخت‌های آموزشی و اقتصادی در شهرهای کوچک مانند مونیخ، مهاجرت به برلین را کاهش داده است [۲۴]. ایران نیز نیازمند سرمایه‌گذاری در شهرهای کمترتوسعه‌یافته است.

۵–۲. مهاجرت‌پذیری و فشار بر خدمات در تهران

تمرکزگرایی تهران، مهاجرت گسترده‌ای از شهرهای کمترتوسعه‌یافته را به دنبال داشته و ترافیک سنگین تهران با سرعت متوسط ۲۲ کیلومتر در ساعت در ساعت‌های اوج از یک سو و سهم ۴۹ درصدی سفرهای روزانه با خودروهای شخصی، به آلودگی شدید هوا در این شهر منجر شده است. این ترافیک سنگین خدمت‌رسانی و امور روزمرهٔ مردم را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده و باعث اتلاف چشمگیر وقت ایشان شده، به طوری که متوسط تأخیر از زمان کل سفر در ساعت‌های اوج، حدود ۴۵ درصد برای کل مناطق ۲۲گانهٔ تهران است [۲۵].

نظام سلامت تهران نیز تحت فشار است؛ با وجود تعدد بیمارستان‌ها و مراکز درمانی در این شهر، از تعداد ۱۳۵ مرکز خدمات جامع سلامت مورد نیاز تحت پوشش دانشگاه‌های علوم پزشکی تهران، شهید بهشتی و ایران، تعداد ۷۴ مرکز کمبود وجود دارد. تعداد پایگاه‌های سلامت این شهر تحت پوشش دانشگاه‌های یادشده نیز ۴۴۳ مورد بوده و ۴۴۱ پایگاه نیز تعداد کمبود آن است [۲۶].

کمبود مسکن به‌صرفه نیز به چالش بزرگی در تهران تبدیل شده است؛ متوسط مبلغ اجارهٔ ماهانه به علاوه ۳ درصد ودیعهٔ پرداختی برای اجارهٔ یک متر مربع زیربنای مسکونی (ریال) در زمستان ۱۴۰۰ در شهر تهران بیش از ۱۰ میلیون تومان است، در حالی که این رقم برای نقاط شهری کشور در همان زمان، حدود ۳۷۰ هزار تومان است [۲۷].

حاشیه‌نشینی در شهرها گرچه علل متنوعی دارد، ولی یکی از مظاهر ناهنجار تمرکزگرایی است. به عنوان مثال، گرچه در تهران و شهرهایی مانند زاهدان و ایلام حاشیه‌نشینی به دلیل مهاجرت قابل توجه است، اما مقیاس این مشکل در تهران به مراتب بزرگ‌تر و مغایرت اصلی آن با شهرهای یادشده در ظرفیت خدمات است؛ زاهدان و ایلام با جمعیت کمتر، به مراتب فشار کمتری بر خدمات خود نسبت به تهران دارند.

از منظر تجارب بین‌المللی، کرهٔ جنوبی با توسعهٔ زیرساخت‌های حمل‌ونقل در شهرهای کوچک مانند بوسان، فشار بر سئول را کاهش داده است [۲۸]. به طریق مشابه، ایران نیز نیازمند توزیع متعادل خدمات در شهرهای کمترتوسعه‌یافته است تا مهاجرت به تهران کاهش یابد.

۵-۳. تحلیل تطبیقی جمعیت و ظرفیت اکولوژیکی

همان‌طور که گفته شد، جمعیت حاضر در شهر و استان از ظرفیت اکولوژیکی آن فراتر رفته و فشار شدیدی بر منابع طبیعی، به‌ویژه آب، وارد کرده است. حضور چنین جمعیت عظیمی و لزوم تأمین آب به هر قیمت و از هر منبع، سبب کاهش ۱۲۸ میلیون مترمکعب (تجمعی) ذخیرهٔ آبخوان‌های آبرفتی استان تهران شده است [۱۰].

آلودگی هوا نیز دیگر چالش بزرگ شهر تهران است؛ به طوری که در سال ۱۴۰۳، تعداد روزهای پاک و قابل قبول به‌ترتیب ۷ و ۲۱۳ روز بوده است. مدیریت پسماند نیز دیگر معضل این شهر است؛ کل پسماند خانگی جمع‌آوری‌شده از مناطق در سال ۱۴۰۳، بیش از ۲/۳۰۰ میلیون تن تهران بوده که روزانه رقمی حدود ۶۴۰۰ تن را شامل می‌شود. کل پسماند بیمارستانی ویژه نیز در سال یادشده ۳۰۸۰۰ تن (روزانه حدود ۸۴ تن) و پسماند بیمارستانی شبه‌خانگی نیز ۱۹۶۸۷ تن (روزانه حدود ۵۴ تن) بوده است [۲۴]. این ارقام از نظر آلوده‌سازی محیط بسیار نگران‌کننده و تهدیدی جدی برای محیط زیست شهر تهران هستند.

مسائل مرتبط با زلزله و پیامدهای آن، فضاهای آموزشی، بهداشت، ترافیک شهری، فضای سبز، بزهکاری و... همه از مسائلی است که هریک علاوه بر مسائلی که ذکر شد، خود چالش‌های بزرگی برای تهران هستند که حل آن‌ها امروزه واقعاً نیازمند برنامه‌ریزی و عزمی سترگ است.

در جدول ۵ شاخص‌های مرتبط با منابع طبیعی و توسعه از منظر تمرکزگرایی ارائه شده است [۲۹]. بر اساس این جدول ملاحظه می‌شود که استان تهران بدون داشتن ظرفیت طبیعی و قرار داشتن در رتبه‌های پایین از این منظر در بین سایر استان‌ها، از نظر توسعه و شاخص‌های مرتبط با آن، در بسیاری جهات رتبهٔ اول کشور را دارد. این جدول به‌خوبی آئینهٔ تمام‌نمای عدم تعادل بین توسعه و سرمایه‌گذاری با ظرفیت‌های طبیعی در محدوده‌ای است که به مسائلی منجر شده که این شهر را که در دههٔ ۱۳۵۰ نمادی از توسعه بود، امروزه به معضلی از منظر مدیریت شهری و بلکه کشوری تبدیل کرده است.

جدول ۵. شاخص‌های مرتبط با منابع طبیعی و توسعه از منظر تمرکزگرایی

ردیف	شاخص- واحد	مقدار	رتبهٔ استان تهران در کشور
۱	مساحت استان - کیلومترمربع	۱۳۵۳۶/۸	۲۹
۲	بارندگی ـ میلی‌متر	۳۱۶ (۲۸۰ بهنگام شده)	۱۰
۳	مساحت جنگل‌ها ـ هکتار	۵۱۶۱۸	۲۵
۴	مساحت مراتع ـ هکتار	۷۹۶۰۹۰	۲۳
۵	مساحت پدیده‌های بیابانی ـ هکتار	۷۲۳۰۴	۱۴
۶	جمعیت ـ هزار نفر	۱۳۹۷۳	۱
۷	نرخ بیکاری در جمعیت ۱۵ساله و بیشتر	۲/۷	۲۸
۸	تعداد کارکنان دولت ـ نفر	۴۳۴۵۳۱	۱
۹	میزان مصرف گاز طبیعی ـ میلیون متر مکعب	۲۶۴۳۸	۱
۱۰	تعداد کارگاه‌های صنعتی دارای ده نفر کارکن و بیشتر سال ۱۳۹۸	۵۵۵۳	۱
۱۱	تعداد شاغلان کارگاه‌های صنعتی دارای ده نفر کارکن و بیشتر در سال ۱۳۹۸	۴۰۱۴۱۱	۱
۱۲	تعداد پروانه‌های ساختمانی صادرشده در نقاط شهری برای احداث ساختمان مسکونی	۱۴۱۰۴	۲
۱۳	تعداد خطوط پرسرعت اینترنت	۲۷۵۵۹۷۶	۱
۱۴	تعداد انواع سرقت در حوزهٔ استحفاظی نیروی انتظامی جمهوری اسلامی ایران	۲۳۰۴۹۹	۱
۱۵	تعداد کارگاه‌های تحت پوشش سازمان تأمین اجتماعی	۲۳۷۰۶۰	۱
۱۶	تعداد ثبت‌نام‌شدگان جدید دانشگاه‌ها و مراکز آموزش عالی در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰	۱۰۲۷۵۱	۱
۱۷	تعداد بیمارستان‌های فعال	۱۸۰	۱
۱۸	تعداد سالن سینما	۲۲۱	۱
۱۹	مقدار ارزش افزوده به قیمت جاری در سال ۱۳۹۹ ـ میلیارد ریال	۷۷۸۳۴۷۳	۱

۶. بحث و تحلیل

همان‌گونه که گفته شد، تهران به عنوان مرکز سیاسی، اقتصادی و فرهنگی کشور، از متراکم‌ترین مناطق شهری خاورمیانه است. این تمرکز جمعیتی و اقتصادی، اگرچه از جنبه‌هایی جذابیت‌هایی به همراه دارد، اما به دلیل تقاضای بالای آب برای مصارف خانگی، شهری، خدماتی و کشاورزی، نه فقط در استان تهران، بلکه در حوضه‌های آبی مجاور به ناپایداری آبی منجر شده است.

تمرکز جمعیت در تهران به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد این شهر، از جمله فرصت‌های شغلی گسترده، دسترسی به خدمات آموزشی و درمانی پیشرفته، و وجود زیرساخت‌های فرهنگی و اجتماعی بوده، به طوری که این شهر را به قطب اقتصادی کشور تبدیل کرده است. این تمرکز و تبدیل تهران به قطب اقتصادی کشور، گرچه باعث ایجاد تنوع اقتصادی، فرهنگی و پویایی اجتماعی شده، با این‌حال، نتیجهٔ نهایی این جذابیت‌ها، فشار بی‌سابقه بر منابع طبیعی، به‌ویژه آب بوده است.

به بیان دیگر، رشد و تمرکز جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی در تهران، تقاضای آب را به سطح بحرانی رسانده و بلکه از آن عبور کرده و برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی نیز به افت سطح این منابع منجر شده است.

دست‌اندازی به منابع آبی حوضه‌های مجاور، ناپایداری زیست‌محیطی را تشدید کرده و تعادل اکوسیستم‌های منطقه‌ای را به هم زده است. همچنین، از منظر پدافند غیرعامل، وابستگی بیش از حد تهران به منابع آبی خارج از حوضهٔ آبریز خود، این شهر را در برابر بحران‌های احتمالی، مانند قطعی سامانه‌های انتقال آب و یا آسیب رسیدن به آن ناشی از عوامل طبیعی همچون زلزله، بسیار آسیب‌پذیر کرده است.

مهم‌ترین دلایل تشدید بحران آب در تهران را می‌توان به شرح زیر برشمرد:

۶–۱. تمرکزگرایی و رشد جمعیت

به عنوان اولین و اصلی‌ترین دلیل تشدید بحران آب در تهران، می‌توان تمرکز بیش از حد جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی در این منطقه کم‌آب، رشد قارچ‌گونهٔ ساختمان‌ها، شهرک‌های اقماری، خیل مهاجران داخلی و خارجی، تمرکز صنایع، آبیاری با فاضلاب خام و ...که همگی تهدیدهای جدی برای آب از منظر کمی و کیفی هستند، را نام برد. این مسائل سبب شده تا فشار جبران‌ناپذیری به منابع آبی وارد آید، به طوری که به‌هیچ‌وجه قادر به بازیابی خود نیستند.

۶–۲. تغییرات اقلیمی و کاهش بارندگی

تغییرات اقلیمی به کاهش قابل توجه بارندگی در منطقهٔ تهران منجر شده است. بر اساس داده‌های هواشناسی، میانگین بارندگی سالانه در تهران از حدود ۴۰۰ میلی‌متر از دهه‌های ۱۳۶۰ و ۱۳۷۰ تا امروز، حدود ۳۷ درصد کاهش یافته است. این وضعیت سبب کاهش ورودی آب به سدهای اصلی تأمین‌کنندهٔ تهران، از جمله لتیان، کرج، طالقان و ماملو، شده است. برای مثال، حجم ذخیرهٔ سد کرج در سال ۱۴۰۳ به کمتر از ۵۰ درصد ظرفیت اسمی آن (۲۰۵ میلیون مترمکعب) رسیده است. این کاهش، که با افزایش دما و تبخیر همراه است، وابستگی تهران به منابع آبی زیرزمینی را افزایش داده و تعادل هیدرولوژیکی منطقه را به هم زده است.

۶–۳. برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی

برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی در دشت تهران یکی از عوامل کلیدی تشدید بحران آب است. این برداشت بی‌رویه، که فراتر از نرخ تجدید طبیعی آبخوان‌ها است، باعث کاهش فشار هیدرولیکی در آبخوان‌ها شده و پدیدهٔ فرونشست زمین را تشدید کرده است. نرخ فرونشست در برخی مناطق تهران، مانند جنوب شهر، به ۳۰ سانتی‌متر در سال رسیده است که تهدیدی جدی برای زیرساخت‌های شهری، از جمله خطوط مترو و ساختمان‌ها، محسوب می‌شود.

۶–۴. مدیریت ناکارآمد منابع آب

مدیریت نابهینهٔ منابع آب به تشدید بحران در تهران دامن زده است. بر اساس گزارش شرکت آب و فاضلاب استان تهران (۱۴۰۳)، حدود ۲۵ درصد از آب شرب در شبکهٔ توزیع به دلیل فرسودگی لوله‌ها و نشتی هدر می‌رود. علاوه بر این، نرخ بازیافت

فاضلاب در تهران تنها ۱۵ درصد است. عدم سرمایه‌گذاری کافی در نوسازی زیرساخت‌ها و فقدان سیستم‌های پیشرفتهٔ مدیریت آب، مانند آبیاری قطره‌ای در اراضی کشاورزی استان و توسعهٔ گلخانه‌های مدرن، کارایی استفاده از آب را کاهش داده است.

۶–۵. دست‌اندازی به حوضه‌های آبی مجاور

برای تأمین آب تهران، منابع آبی حوضه‌های مجاور، مانند رودخانه‌های لار و طالقان، از طریق سامانه‌های انتقال آب مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. این انتقال، بر منابع آبی مناطق پایین‌دست، از جمله استان‌های مازندران، گیلان و قزوین، اثرگذار بوده، به طوری که به کاهش تولید محصولات کشاورزی در دشت قزوین منجر شده است. این دست‌اندازی، اکوسیستم‌های محلی را نیز مختل کرده و تنش‌های اجتماعی ـ اقتصادی را در مناطق مجاور افزایش داده است.

۶–۶. ضعف در سیاست‌گذاری و آموزش عمومی

ناکارآمدی در سیاست‌گذاری‌های کلان و نبود برنامه‌های مؤثر برای مدیریت تقاضای آب، بحران را تشدید کرده است. فقدان سیاست‌های تمرکززدایی، مانند توسعهٔ زیرساخت‌ها در سایر شهرها و تشویق مهاجرت معکوس، باعث تداوم فشار جمعیتی بر تهران شده است. علاوه بر این، برنامه‌های آموزش عمومی برای ترویج مصرف بهینه آب محدود بوده و آگاهی عمومی نسبت به اهمیت صرفه‌جویی پایین است. برای مثال، مطالعه‌ای توسط دانشگاه شریف (۱۴۰۱) نشان داد تنها ۳۰ درصد از ساکنان تهران از روش‌های ساده صرفه‌جویی، مانند استفاده از تجهیزات کاهندهٔ مصرف، آگاه هستند.

این عوامل، که از تعامل پیچیدهٔ فرایندهای طبیعی، انسانی و مدیریتی ناشی می‌شوند، پایداری منابع آبی را تهدید کرده و پیامدهای زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی گسترده‌ای به دنبال داشته‌اند. به بیان دیگر، بحران آب در تهران نتیجهٔ اندرکنش پیچیدهٔ عوامل طبیعی (تغییرات اقلیمی)، انسانی (تمرکزگرایی و برداشت بی‌رویه) و مدیریتی (ناکارآمدی در سیاست‌گذاری و زیرساخت‌ها) است. این عوامل نه‌تنها منابع آبی تهران را تهدید می‌کنند، بلکه با تأثیر بر حوضه‌های مجاور، ناپایداری منطقه‌ای را تشدید کرده‌اند.

۷. راهبردها و پیشنهادها

با توجه به آنچه گفته شد، در جدول ۶ راهبردها، برنامه‌ها و اقدامات برای بهبود شرایط آبی استان تهران در دوره‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت پیشنهاد شده است. ارائهٔ این راه‌حل‌ها در سه بخش مدیریت مصرف، مدیریت تقاضا و افزایش بهره‌وری بوده و به‌هیچ‌وجه به گزینهٔ تأمین نپرداخته است، زیرا اصولاً منبع دیگری برای تأمین وجود نداشته و تجربه نشان داده است که طرح‌های تأمین، در واقع طرح‌های ایجاد کمبود بوده‌اند، زیرا با ایجاد جذابیت و جذب جمعیت جدید، چرخش بی‌پایان دور باطل تأمین ـ کمبود را تسریع می‌کنند.

۸. نتیجه‌گیری

تهران که روزی نماد توسعه‌یافتگی کشور بوده و به عنوان پایتختی مدرن در منطقه خودنمایی می‌کرد، امروزه با چالش‌های عدیده‌ای در تمامی زمینه‌ها روبه‌روست و در سطح ملی از نظر مدیریت به یک چالش جدی تبدیل شده است. از ترافیک، آلودگی هوا، کمبود فضاهای آموزشی در سطح تحصیلات دبستانی و دبیرستانی، مسکن و اجاره بها و .... گرفته تا کمبود آب و برق، همگی مسائل تهران را به سمت بی راه حل شدن سوق داده است.

در این بین آب را به‌جرئت می‌توان مهم‌ترین دغدغهٔ مدیریت این کلان‌شهر نامید. قرارگیری این شهر در منطقه‌ای کم‌آب و بی‌آب، تمرکز شدید فعالیت‌ها و امکانات کشور در آن و به دنبال آن تمرکز جمعیت بی‌اندازه و بسیار فراتر از ظرفیت طبیعی آن، سبب فشار برگشت‌ناپذیر به منابع آب استان و حوضه‌های مجاور شده است. دیگر آبی برای انتقال نیست و در غیاب مدیریت مصرف، فقط باید نظارگر فرونشست، تعطیلی‌های بی‌انتها و سردرگمی برنامه‌ها و نامشخص بودن آینده بود.

جدول ٦. راهبردها، برنامه‌ها و اقدامات برای بهبود شرایط آبی استان تهران

راهبرد	برنامه	اقدام		
		کوتاه‌مدت	میان‌مدت	بلندمدت
• مدیریت مصرف	• دوری از بارگذاری جدید (به‌ویژه جمعیت)	• ممنوعیت جدی در واگذاری اشتراک جدید آب در شهر تهران • ممنوعیت صدور مجوز احداث واحدهای صنعتی جدید در سطح استان • ممنوعیت توسعهٔ اراضی کشاورزی بهر شکل به‌ویژه توسعهٔ ناشی از صرفه‌جویی اجرای شیوه‌های آبیاری نوین	• ممنوعیت هرگونه توسعهٔ شهرک‌های اقماری در استان • ممنوعیت فروش تراکم در شهر تهران • ممنوعیت جدی در واگذاری اشتراک جدید آب در استان تهران • نصب کنتورهای جداگانهٔ آب برای هر واحد آپارتمانی	• اصلاح هرم جمعیتی (از طریق جذب مهاجران جوان، متخصص و خوش‌سابقه در عوض تشویق به زادآوری در کل کشور به‌ویژه استان تهران • ممنوعیت توسعهٔ زیرساخت‌های مهاجرطلب مانند دانشگاه‌ها، مراکز درمانی، .... در استان تهران
	• کاهش بارگذاری‌های موجود	• توزیع لوازم کاهندهٔ مصرف و سردوش‌ها و سرشیرهای کم‌مصرف به صورت رایگان بین خانوارها بر اساس قبوض آب‌بها • مقابلهٔ جدی با اضافه‌برداشت و برداشت‌های غیرمجاز (سطحی و زیرزمینی) • اخراج فوری مهاجران افغانی • تسریع در توسعهٔ واحدهای تصفیهٔ فاضلاب و جایگزینی پساب به‌دست‌آمده در مصارف کشاورزی برای تقلیل برداشت آب • تغییر منظر فضای سبز شهری از چمن به سایر گونه‌های کم‌آب‌بر و منظر خشک	• توسعهٔ گلخانه‌ها و جلوگیری از فضای کشت باز و ذخیرهٔ آب صرفه‌جویی‌شده به نفع آبخوان‌ها و رودخانه‌ها • اصلاح تخصیص‌های داده‌شده از منابع سطحی در راستای کاهش آن‌ها و نیز افزایش سهم آب شرب و کاهش کشاورزی • تشویق فعالیت‌های کشاورزی موجود به سمت فعالیت‌های کم‌آب‌بر مانند پرورش طیور و آبزی‌پروری با تغییر کاربری تخصیص‌های موجود کشاورزی همراه با کاهش آن‌ها	• بازنگری فرایندهای تولید واحدهای صنعتی موجود در راستای کاهش مصرف همراه با بازچرخانی • اصلاح پروانه‌های برداشت از آبخوان‌ها و بازنگری در تخصیص‌های داده‌شده از آب سطحی به فعالیت‌های کشاورزی در راستای کاهش برداشت از این منابع
• مدیریت تقاضا	• مدیریت عوامل تأثیرگذار در بارگذاری‌ها	• بازنگری در ضوابط تولید و استفاده از لوازم کاهندهٔ مصرف، سردوش‌ها، سرشیرها، شیرآلات، ماشین‌های رختشویی و ظرفشویی، سردسازها (کولر، چیلر،...) در راستای کاهش مصرف و ارائهٔ مشوق‌ها برای تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان • آموزش مداوم همگانی و اطلاع‌رسانی عمومی	• بازنگری در شیوهٔ عایق‌بندی ساختمان‌ها در راستای کاهش نیاز به وسایل سرمایشی که نیاز به آب برای خنک‌سازی دارند (اعم از کولرهای آبی تا چیلرها) • بازنگری جدی در تعرفهٔ آب در تمامی بخش‌ها به‌ویژه خانگی و کشاورزی • اصلاح مقررات و ضوابط در خصوص نحوهٔ برخورد با متخلفان و جرم‌انگاری حفر و برداشت غیر مجاز از منابع آب سطحی و زیرزمینی •	• ایجاد بستر مناسب برای کنترل افزایش بی‌رویه جمعیت ناشی از مهاجرپذیری بالای استان و ایجاد سازوکار مهاجرت معکوس، تمرکززدایی و به‌ویژه جلوگیری از مهاجرت اتباع بیگانه به استان به منظور مدیریت تقاضا با توجه به شرایط حاد استان از منظر منابع آب • بهره‌گیری از دو سامانهٔ تأمین آب شرب به صورت آب بسته‌بندی و تأمین آب بهداشتی با استفاده از شبکهٔ توزیع فعلی (طرح جداسازی آب شرب از بهداشتی) • تمرکززدایی سازمان‌های دولتی و صنعتی ـ خدماتی از استان به منظور ترغیب مردم به مهاجرت به شهرهای دیگر • اصلاح قوانین، مقررات و ضوابط در راستای تمرکززدایی استقرار صنایع موجود از پایتخت
• افزایش بهره‌وری	• مدیریت هدررفت، کنترل، پایش	• نصب سیستم‌های هوشمند نظارت بر نشتی • به‌روزرسانی لوله‌های فرسوده با فناوری‌های نشت‌گریز • بازسازی و نوسازی شبکه برای کنترل هدررفت واقعی • مدیریت هدررفت ظاهری	• تدوین استانداردهای اجباری برای مصرف آب در ساخت‌وسازهای جدید • ایجاد مشوق‌ها برای اصلاح سیستم مصرف آب در ساختمان‌های موجود (نصب کاهنده، تعویض لوله‌ها و شیرآلات)	• تعویض کنتورهای موجود با کنتورهای پیشرفته با امکان قرائت از دور و محاسبهٔ مصرف در زمان‌های پیک روزانه و فصلی برای مدیریت مصرف با قیمت‌های متفاوت برای این زمان‌ها

با این‌حال، هنوز جای اصلاح وجود دارد و با توجه به اقداماتی که در جدول ۶ گفته شد، می‌توان به بهبود شرایط امید داشت. ولی این اقدامات، نیازمند عزم جدی در سطح ملی است. مسئلهٔ آب تهران را نباید در سطح محلی نگریست، بلکه از مهم‌ترین دغدغه‌های ملی باید قلمداد شود. عدم حل این مسئله، حتی می‌تواند پایداری کشور و نظام مدیریتی آن را با خطر جدی مواجه کند.

زمان بسیار به‌سرعت می‌گذرد و هر روز اقدام نکردن، چند ماه و بلکه چند سال به زمان برای جبران مشکلات پیش‌آمده، اضافه می‌کند.

برای ادامهٔ مسیر، پیشنهاد می‌شود اساتید، کارشناسان، مدیران و دانشجویان، به تحقیق و ارائهٔ راه حل در خصوص کاهش تمرکز و انتقال جمعیت از تهران بپردازند، زیرا همانا که جمعیت ریشهٔ اصلی مشکلات آب در کشور به‌ویژه شهر و استان تهران است.

منابع

1. United Nations Human Settlements Program. World cities report 2022: envisaging the future of cities. Nairobi: UN-Habitat; 2022.
2. Organization for Economic Co-operation and Development. Regional development policies in OECD countries. Paris: OECD; 2021.
3. Ashton P, Kubik M. Beyond sustainability. eJournal of Public Affairs. 2014 Oct [Special Issue].
4. Li Y, Chen Y. Variable precondition S-type cloud algorithm: theory and application on water resources carrying capacity assessment. Ecol Indic. 2021;121:107209.
5. Febrina I, Rahmat HK. Factors causing stress in disaster volunteers and employees in an organization: a literature review. J Curr Res Manag Policy Soc Stud. 2025;2(1):41-8.
6. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Disaster risk and resilience. Thematic think piece, UN system task force on the post-2015 UN development agenda. Geneva: UNISDR; 2012.
7. Decentralization and Ambiguities of Local Politics in Tehran - Middle East Institute (2016). https://www.mei.edu/publications/decentralization-and-ambiguities-local-politics-tehran
8. Statistical Centre of Iran. Statistical Yearbook 2022 (ISBN: 978-600-409-475-7). Tehran: Statistical Centre of Iran. [Persian]
9. Iran Meteorological Organization, National Center for Climate and Drought Management. (2023). Annual Report of the National Center for Climate and Drought Management: Agricultural Year 2023-2024. Tehran: Iran Meteorological Organization [Persian]
10. Jamab Consulting Engineers Company. Sustainable Water Resources and Consumption Management Plan Report for Tehran Province. Tehran: Jamab Consulting Engineers Company; 2022.
11. Statistical Centre of Iran. Statistical Yearbook 2022 (ISBN: 978-600-409-475-7). Tehran: Statistical Centre of Iran. [Persian]
12. United Nations University, Institute for Water, Environment and Health. Global water report. Hamilton: UNU-INWEH; 2013.
13. Food and Agriculture Organization. The state of food security and nutrition in the world [Internet]. Rome: FAO; 2023 [cited 2025 Jul 25]. Available from: https://www.fao.org/publications/sofi
14. National Water and Wastewater Industry Statistical Yearbook 2023. Tehran: National Water and Wastewater Engineering Company; 2023. p. 39 [Persian].
15. Tehran City Statistical Yearbook 2023. Tehran: Tehran Municipality; 2023. p. 125 [Persian].
16. Tavassoli O, Karbin H, Torabi M, Asakereh A. Investigation of factors affecting land subsidence in the southeast Tehran plain due to excessive groundwater extraction. J Water Wastewater Sci Eng. 2019;4(2):58-72. doi: 10.22112/jwwse.2019.168559.1138 [Persian].
17. Sustainable management plan for drinking water resources and consumption in Tehran province. Tehran: Jamab Consulting Engineers; 2022 Nov [Persian].
18. Statistical Center of Iran. Economic, Social, and Cultural Status of the Provinces, 2023-2024. Tehran: Statistical Center of Iran, Office of the President, Public Relations, and International Cooperation; 2024. [Persian]
19. Tehran Municipality Information and Communications Technology Organization. Statistical Yearbook of Tehran City 2023 (Tehran City Statistical Yearbook). Tehran: Publications of Tehran Municipality Information and Communications Technology Organization; 2024. [Persian]
20. Statistical Centre of Iran. Annual Economic and Demographic Report of Iran 2022. Tehran: Statistical Centre of Iran; 2022. [Persian]
21. Ministry of Science, Research and Technology. Statistics of Higher Education in Iran. Tehran: Institute for Research and Planning in Higher Education; 2023. [Persian]
22. Tehran Municipality. Tehran Urban Development and Housing Report 2023. Tehran: Tehran Municipality; 2023. [Persian]
23. Ministry of Health and Medical Education (Iran), Deputy of Treatment, Center for Hospital Management and Clinical Services Excellence. Statistical Yearbook of Hospital Information and Statistics 2023. Tehran: Ministry of Health and Medical Education; 2024. [Persian]
24. German Federal Ministry of Economics. Regional Development Policies in Germany. Berlin: German Federal Ministry of Economics; 2023.

25. Tehran Information Technology and Communications Organization. Statistical Yearbook of Tehran City 2023. Tehran: Tehran Information Technology and Communications Organization Table 6-7; 2024. [Persian]
26. Bakhtiari Aliabad M. Study of infrastructural problems in the health sector under the command of medical science universities in Tehran City. Tehran: Office of Social Studies; 2023. [Persian]
27. Statistical Center of Iran. Macroeconomic and Social Indices of the Country, Aban 2025. Tehran: Statistical Center of Iran; 2025. [Persian]
28. Korea Ministry of Culture. Cultural Infrastructure Development Report. Seoul: Korea Ministry of Culture; 2023.
29. Isfahan Governorate, Deputy of Statistics and Information. Ranking of the Country's Provinces Based on Selected Statistical Indicators, 2020. Isfahan: Isfahan Governorate, Deputy of Statistics and Information; 2022.

Urban Development Policy Making

Home Page: https://judpm.ir

Online ISSN: 3092-6564

Bararies of Investment Attractiveness in Tehran Megacity with a Comparative Approach

Mahmoud Olad Ghareh Ghouz[1*] | Amirhossein Azimpour[2]

1. Corresponding Author, Urban Economics Researcher, PhD in Economics, Tehran, Iran. Email: mahmoud.olad@gmail.com
2. PhD Student in Urban Planning, Faculty of Urban Planning, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: amirhosein.azimpour@outlook.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 28 July 2025
Revised 02 September 2025
Accepted 02 November 2025
Published Online 01 January 2026

Keywords:
Investment attractiveness,
Tehran megacity,
Urban capacity,
Urban competitiveness,
Urban infrastructure,
Productive investment.

ABSTRACT

This study compares the investment attractiveness of Tehran metropolis with leading global capitals and analyzes the main barriers at the structural, economic, institutional, environmental, and political levels using international data. The results show that Tehran, despite its potential capacities, faces a serious gap in investment attraction and competitiveness due to the deterioration of infrastructure, economic instability, regulatory complexity, environmental problems, and sanctions. The construction-oriented approach and the heavy dependence of urban income on fees have made development unproductive and unbalanced. The DEMATEL method was used to measure the causal relationships between barriers. The findings show that structural barriers are the most effective and economic and institutional barriers are the most effective factors. Also, "ignoring environmental sustainability" and "sanctions" were identified as causal factors and "low quality of life" as the most important consequence. These results highlight the need to shift from a short-term revenue-generating approach to productive investment and institutional reforms to enhance sustainability and investment attractiveness in Tehran.

Cite this article: Olad Ghareh Ghouz, M. & Azimpour, A. (2026). Bararies of Investment Attractiveness in Tehran Megacity with a Comparative Approach. *Urban Development Policy Making*, 3 (1), 135-157. DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.553514.1069

© Mahmoud Olad Ghareh Ghouz, Amirhossein Azimpour
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.553514.1069

Introduction

Megacities generate more than 60% of global GDP and serve as competitive hubs for innovation and FDI. While leading capitals—such as London, New York, and Paris—excel due to advanced infrastructure, transparent governance, and high livability, Tehran faces significant constraints despite its demographic and market potential. Economic instability, sanctions, bureaucratic complexity, and severe ecological stresses (water scarcity, pollution, land subsidence) undermine its urban competitiveness. The city's revenue model, heavily dependent on construction fees and density bonuses, prioritizes short-term gains over productive investment, contradicting principles of spatial planning and sustainable development. This study examines Tehran's investment attractiveness against global benchmarks and identifies pathways for improvement based on both international data and causal analysis of underlying barriers.

Materials and Methods

The research adopts a mixed-method, deductive framework integrating global quantitative indicators (FDI, GCI, EPI, CPI, competitiveness metrics) with contextual qualitative analysis tailored to Iranian urban conditions. A comparative case study approach positions Tehran alongside leading global cities based on success factors (infrastructure, governance, sustainability) and barriers (structural, economic, institutional, environmental, political). To reveal causal interactions among barriers, the study employs the DEMATEL method, using expert input from 12 specialists in urban economics and planning to construct direct-influence, normalized, and total-relation matrices. Key DEMATEL metrics (D, R, D+R, D–R) identify the most influential, dependent, and interacting factors.

Results

Across global indices, Tehran significantly lags behind top capitals. Structural deficiencies (aging infrastructure, congestion), economic volatility (inflation, currency instability), institutional barriers (bureaucracy, regulatory inconsistency, corruption), environmental degradation (pollution, water scarcity), and political constraints (sanctions, fragmented governance) diminish its investment appeal. DEMATEL findings highlight the internal dynamics of these barriers:

- Structural barriers are the most influential (highest D value), strongly shaping economic and institutional weaknesses.
- Economic and institutional/legal barriers show the highest dependence (highest R), making them reactive outcomes of deeper structural and environmental issues.
- At the sub-factor level, "neglect of environmental sustainability in planning" and "international sanctions" are dominant causal drivers (positive D–R).
- "Low quality of life and social inequality" emerges as the most affected outcome (highest R).
- "Regulatory complexity and lengthy procedures" show the strongest dependent/affected role (most negative D–R).

Together, these results demonstrate that Tehran's investment challenges stem not from isolated weaknesses but from an interconnected system dominated by structural decay, environmental stress, and governance fragmentation.

Discussion and Conclusion

The analysis shows that Tehran's constraints—notably structural deterioration, institutional opacity, and environmental overreach—generate a reinforcing cycle that suppresses FDI and undermines competitiveness. DEMATEL results confirm that core drivers lie in structural and environmental mismanagement, while economic and institutional deficiencies are largely consequences rather than root causes. This pattern aligns with theoretical frameworks such as Porter's Diamond, where factor endowments and institutional quality shape long-term competitiveness. Tehran's current reliance on non-productive investment (construction-driven revenues) intensifies sprawl, resource strain, and ecological degradation, while productive investment—common in leading global cities—could stimulate innovation, employment, and sustained municipal revenue. Reforming the city's revenue model, enhancing transparency, integrating environmental constraints, and shifting toward foresight-based planning are critical. Prospects for improvement lie in strategic densification, green infrastructure, digital governance, and targeted incentives for knowledge-based and sustainable sectors. Future research should explore (1) the effectiveness of green fiscal tools in attracting FDI, (2) ecological carrying-capacity models for developing megacities, and (3) the role of digital transparency technologies in reducing institutional risk and improving investor confidence.

پیشرفت شهری
سیاستگذاری
سایت نشریه: https:// judpmi.ir
شاپا الکترونیکی: ۶۵۶۴-۳۰۹۲

موانع جذب سرمایه در تهران با رویکرد مقایسه‌ای

محمود اولاد قره‌گوز[۱*] | امیرحسین عظیم‌پور[۲]

۱. نویسندهٔ مسئول، پژوهشگر مستقل اقتصاد شهری، دکتری اقتصاد، تهران، ایران. ایمیل: mahmoud.olad@gmail.com
۲. دانشجوی دکتری شهرسازی، دانشکدهٔ شهرسازی، دانشکدگان هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. ایمیل: amirhosein.azimpour@outlook.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱

کلیدواژه:
جذابیت سرمایه‌گذاری،
رقابت‌پذیری شهری،
کلان‌شهر تهران،
زیرساخت‌های شهری،
ظرفیت شهری،
سرمایه‌گذاری مولد.

چکیده

پژوهش پیش رو به صورت تطبیقی، جذابیت سرمایه‌گذاری در کلان‌شهر تهران را با پایتخت‌های پیشرو جهانی مقایسه کرده و با بهره‌گیری از داده‌های بین‌المللی، موانع اصلی را در سطوح ساختاری، اقتصادی، نهادی، محیطی و سیاسی تحلیل می‌کند. نتایج نشان می‌دهد تهران، علی‌رغم ظرفیت‌های بالقوه، به دلیل فرسودگی زیرساخت‌ها، بی‌ثباتی اقتصادی، پیچیدگی مقررات، مشکلات زیست‌محیطی و تحریم‌ها، با شکاف جدی در جذب سرمایه‌گذاری و رقابت‌پذیری مواجه است. رویکرد ساخت‌وسازمحور و وابستگی شدید درآمد شهری به عوارض، توسعه را غیرمولد و نامتوازن کرده است. به منظور سنجش روابط علّی میان موانع، از روش DEMATEL استفاده شد. یافته‌ها نشان می‌دهد موانع ساختاری اثرگذارترین و موانع اقتصادی و نهادی اثرپذیرترین عوامل‌اند. همچنین «نادیده گرفتن پایداری محیطی» و «تحریم‌ها» به عنوان عوامل و «کیفیت زندگی پایین» به عنوان مهم‌ترین پیامد شناسایی شدند. این نتایج ضرورت گذار از رویکرد درآمدزایی کوتاه‌مدت به سرمایه‌گذاری مولد و اصلاحات نهادی برای ارتقای پایداری و جذابیت سرمایه‌گذاری در تهران را برجسته می‌کند.

استناد: اولاد قره‌گوز، محمود و عظیم‌پور، امیرحسین (۱۴۰۵). موانع جذب سرمایه در تهران با رویکرد مقایسه‌ای. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۳ (۱) ۱۳۵-۱۵۷.
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.553514.1069

© محمود اولاد قره‌گوز، امیرحسین عظیم‌پور
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.553514.1069

مقدمه

در نظام نوین اقتصاد جهانی، کلان‌شهرها به عنوان کانون‌های اصلی تولید ثروت، نوآوری و تعاملات اقتصادی، بیش از ۶۰ درصد تولید ناخالص داخلی جهان را به خود اختصاص داده‌اند و نقش محوری در جذب سرمایه‌گذاری و تقویت رقابت‌پذیری شهری ایفا می‌کنند [۱]. بر اساس گزارش سرمایه‌گذاری جهانی سازمان ملل متحد، جریان‌های جهانی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی (FDI[1]) در سال ۲۰۲۴ با افت ۱۱ درصدی به ۱/۵ تریلیون دلار رسیده که این کاهش عمدتاً ناشی از بی‌ثباتی‌های سیاست سرزمینی، تورم جهانی و تمرکز سرمایه‌گذاری در اقتصادهای پیشرفته است [۲]. این روند، رقابت فزاینده‌ای میان شهرها برای جذب سرمایه و بهبود جایگاه در شبکهٔ جهانی شهرها ایجاد کرده است. پایتخت‌های غربی مانند لندن، نیویورک و پاریس به دلیل زیرساخت‌های پیشرفته، ثبات سیاسی ـ اقتصادی و کیفیت زندگی بالا، در شاخص‌های جهانی مانند GPCI یا Kearney در رتبه‌های برتر به لحاظ تجمیعی از تمامی شاخص ها قرار دارند [۳]. این رتبه‌بندی‌ها از طریق شاخص شهرهای جهانی (GCI) و چشم‌انداز شهرهای جهانی (GCO)، هم نفوذ جهانی امروز و هم پتانسیل فردا را به تصویر می‌کشند و دیدگاهی جامع از چگونگی شکل‌دهی شهرها و نیروهای دگرگون‌کنندهٔ جهان را ارائه می‌دهند. به عنوان مثال، لندن در سال ۲۰۲۴ بیش از ۲۶۵ پروژه FDI را ثبت کرده و نیویورک بخشی از ۱۵۱ میلیارد دلار FDI ایالات متحده را به خود اختصاص داده است [۴ و ۵]. با این‌حال، جذابیت سرمایه‌گذاری فراتر از FDI، به شاخص‌هایی مانند عملکرد ـ اقتصاد، تحقیق و توسعه، تعامل فرهنگی، زیست‌پذیری، محیط زیست و دسترسی وابسته است که شهرها را به مقاصد پایدار برای سرمایه‌گذاری تبدیل می‌کند.

در کشورهای درحال‌توسعه مانند ایران، کلان‌شهرها با چالش‌های ساختاری در جذب سرمایه و توسعهٔ پایدار مواجه‌اند. تهران، به عنوان پایتخت سیاسی و اقتصادی ایران با جمعیتی بیش از ۸ میلیون نفر، از توانایی‌هایی مانند نیروی کار جوان و بازار مصرف پویا برخوردار است، اما موانع متعددی رقابت‌پذیری آن را محدود کرده‌اند. این موانع شامل کاهش سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی ناشی از تحریم‌های شدید اقتصادی، محیط سرمایه‌گذاری نامطمئن، مقررات منسوخ، زیرساخت‌های ناکافی و رقابت‌پذیری پایین هستند. این چالش‌های به‌هم‌پیوسته نه تنها جذب سرمایه را کاهش می‌دهند، بلکه به نابرابری‌های اجتماعی و زوال زیرساخت‌ها نیز دامن می‌زنند و پتانسیل شبکهٔ شهری جهانی تهران را محدود می‌کنند [۶ ـ ۸]. به طور خاص، محدودیت‌های بوم‌زیستی شدید تهران، مانند مسائل مرتبط با آب و هوا، از جمله فرونشست زمین، آلودگی هوا، توفان‌های شدید و کمبود منابع آب در کنار ظرفیت زیرساختی و منابع طبیعی شهر که رابطهٔ معکوسی با تراکم شهری برای زیست‌پذیری دارد، توانایی جذب سرمایه را بیش از حد کاهش می‌دهد. این محدودیت‌ها، ضرورت تغییر پارادایم توسعهٔ شهری به سمت الگوهای تعادلی را تأکید می‌کند تا از تخریب منابع جلوگیری شود. علاوه بر این، مطالعات متعدد این ارزیابی را اثبات می‌کنند که مدل‌های توسعهٔ فعلی اساساً دارای نقص هستند. طرح‌های توسعهٔ شهری تهران کمترین همسویی را با زیرساخت‌های پایدار دارند و عدالت زیست‌محیطی و ملاحظات لازم در برنامه‌ریزی شهری نادیده گرفته می‌شوند و چرخهٔ تخریب منابع را تداوم می‌بخشند [۹ ـ ۱۲]. شواهد به‌شدت نشان می‌دهد الگوی توسعهٔ شهری فعلی تهران نیازمند تحول اساسی است تا پایداری و رقابت‌پذیری بلندمدت تضمین شود. تمرکز کوتاه‌مدت در برنامه‌ریزی شهری تهران، مانند اولویت‌دهی به درآمدهای سهل‌الوصول و فوری از مسیر فروش تراکم ساختمانی، به تضعیف توسعهٔ پایدار می‌انجامد و از آینده‌نگری برای رشد بلندمدت غفلت می‌کند. این الگو، رقابت‌پذیری شهر را در برابر شهرهای پیشرو کاهش داده است. در حالی که شهرهایی مانند لندن و پاریس با سیاست‌های مشوق بلندمدت و زیرساخت‌های پایدار، سرمایه‌گذاری‌های کلان را جذب می‌کنند، تهران با موانع نهادی و اقتصادی مواجه است.

پیشینهٔ پژوهش

در زمینهٔ موضوع حاضر پژوهش‌های مستقیمی انجام نشده است. با این‌حال، مواردی در ارتباط نزدیک با پژوهش حاضر انجام شده است که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد. رسولی و لطف‌کار با هدف بررسی دلایل «عدم موفقیت شهرداری‌ها در جذب سرمایه‌گذار بخش خصوصی» در ایران به‌ویژه تهران، پژوهشی اکتشافی انجام داده‌اند. روش کار آن‌ها نظرسنجی میدانی با استفاده از

1. Foreign direct investment

دلفی فازی و مدل‌سازی معادلات ساختاری بود. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد شش دسته موانع اصلی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها شامل ضعف ساختار سیاسی - دولتی، ضعف قوانین و مقررات، ضعف ساختار اقتصادی، تعارض حوزه‌ها (سازمانی)، ضعف ساختار مدیریت و ضعف ساختار اجرایی است. رسولی و لطف‌کار نتیجه می‌گیرند که برای بهبود جذب سرمایه باید هم‌زمان به اصلاح فضای قانونی، تقویت مدیریت و بهبود ساختار مالی شهر تهران توجه شود [۱۳]. غفاری و همکاران (۱۳۹۹) به دنبال طراحی مدلی برای مشارکت عمومی - خصوصی در طرح‌های زیربنایی شهر تهران بودند. این پژوهش کاربردی با رویکرد آمیخته (کیفی و کمی) و با مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته و پرسش‌نامه انجام شد. نتایج تحلیل عاملی تأییدی نشان داد هفت عامل اصلی موفقیت PPP در پروژه‌های عمران شهری تهران عبارت‌اند از: فرایندها و رویه‌های شفاف، دانش و حمایت مدیران، مشوق‌های قانونی، سلامت نظام اداری، ثبات و حمایت سیاسی، ظرفیت‌سازی و خطمشی روشن. تقویت این هفت عامل می‌تواند نقش کلیدی در جلب مشارکت بخش خصوصی در پروژه‌های شهری تهران ایفا کند [۱۴]. آسایش و قهرمانی‌نژاد (۱۳۹۸) با تمرکز بر نقش جذب سرمایه در برندسازی شهری، تأثیر آن بر توسعهٔ پایدار تهران را بررسی کردند. مطالعهٔ یادشده کاربردی با روش پیمایشی و نمونه‌گیری متخصصان (۸۰ نفر) همراه با آزمون‌های آماری رگرسیون بود و در آن به ارزیابی روابط بین «جذب سرمایه»، «برندسازی شهری» و «توسعهٔ شهری» پرداخته شد. یافته‌های مطالعهٔ یادشده نشان می‌دهد جذب سرمایه، به طور مستقیم و غیرمستقیم از طریق تقویت برندسازی، توسعهٔ شهری را تسریع می‌کند؛ به گونه‌ای که سرمایه‌گذاری بخش خصوصی همراه با برندسازی شهری حدود ۶۴ درصد تغییرات توسعهٔ تهران را تبیین می‌کند. به بیان دیگر، این پژوهش تأکید می‌کند که کمبود جذب سرمایه خصوصی، کیفیت برند شهری تهران را پایین می‌آورد و در نتیجه توان رشد شهری را کاهش می‌دهد [۱۵]. رجایی و خراسانی (۱۳۹۴) موانع پیش روی سرمایه‌گذاری بخش خصوصی را در پروژه‌های عمرانی منطقهٔ ۱۰ شهرداری تهران بررسی کردند. روش پژوهش یادشده کیفی بود و در آن با استفاده از رویکرد تفسیری و مصاحبه‌های عمیق با سرمایه‌گذاران و مدیران سازمان سرمایه‌گذاری انجام شد. نتایج پژوهش یادشده نشان داد مهم‌ترین موانع عبارت بودند از: طولانی بودن مراحل اداری و زمان‌بر بودن روند عقد قراردادها، فقدان تضمین سود بازگشتی، تراکم قوانین و مقررات پیچیده، مشکلات حقوق مالکیت و انتقال آن، کمبود شفافیت در قراردادها و برابری با مفاد قرارداد. در پایان نتیجه گرفته شد که تنها با کوتاه کردن فرایندها و تضمین منافع سرمایه‌گذار (مثلاً حمایت‌های قانونی و تضمین سود) می‌توان موانع موجود را کم کرد و جذب سرمایه در تهران را بهبود بخشید [۱۶]. محمدی (۱۳۹۳) جایگاه تهران در شبکهٔ جهانی شهرها را از دیدگاه ارتباطات جهانی بررسی کرد. او با استفاده از مدل GNC و داده‌های بنگاه‌های بزرگ بین‌المللی، وضعیت رتبه و اتصال تهران را در شبکهٔ جهانی تعیین کرد. نتایج پژوهش یادشده نشان داد تهران طی دورهٔ ۲۰۰۰–۲۰۱۰ در رتبه‌بندی جهانی شهرهای شبکه حضور ندارد و سطح اتصال آن بسیار ضعیف است؛ به طوری که تهران به دلیل ایزولاسیون ایدئولوژیک و «مقاومت در برابر جهانی شدن» به عنوان یک شهر ضد جهانی (resistant city) شناخته می‌شود. به بیان دیگر، شرکت‌ها و مؤسسه‌های جهانی پیشرو به‌ندرت در اقتصاد تهران حضور دارند و سهم شهر تهران در شبکهٔ کسب‌وکارهای بین‌المللی بسیار پایین است. این مطالعه نشان می‌دهد یکی از دلایل اصلی رشدنیافتگی تهران در شاخص‌های جهانی، ضعف جذابیت بین‌المللی و عدم حضور بنگاه‌های جهانی در اقتصاد شهر است [۱۷].

با بررسی تمام این موارد، اهمیت مقایسهٔ شرایط جذابیت سرمایه‌گذاری تهران با پایتخت‌های برتر، در شناسایی دقیق این شکاف‌ها و ارائهٔ راهکارهای عملی برای سیاستگذاران نهفته است. این مقایسه، با تمرکز بر دسته‌بندی‌های کلیدی مانند عوامل موفقیت (زیرساخت‌ها، حاکمیت خوب، پایداری محیطی) و موانع (ساختاری، اقتصادی، نهادی، محیطی و سیاسی)، به درک بهتر چالش‌های تهران کمک می‌کند. در نهایت، این پژوهش به دنبال پاسخ به این سؤال اصلی است: چگونه شرایط جذابیت سرمایه‌گذاری در تهران در مقایسه با پایتخت‌های پیشرو، بر اساس داده‌های جهانی تحلیل می‌شود و چه چشم‌اندازی برای رفع موانع و بهبود رقابت‌پذیری تهران با تأکید بر پایداری بوم‌زیستی و برنامه‌ریزی بلندمدت ارائه خواهد شد؟

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در لایهٔ فلسفهٔ پژوهش، رویکرد انتقادی را به عنوان پایه اصلی اتخاذ کرده است که بر واکاوی نابرابری‌ها و چالش‌های اجتماعی ـ اقتصادی تمرکز دارد. با این‌حال، برای ادغام داده‌های عینی و قابل اندازه‌گیری (مانند شاخص‌های FDI و

EPI)، این رویکرد با کارکردگرایی ترکیب شده است؛ به این معنا که داده‌های کمی برای حفظ اصول عینی‌گرایی به کار گرفته می‌شوند، در حالی که تفسیرهای زمینه‌ای مبتنی بر ادبیات محلی و تجربیات مرتبط با شرایط ایران (مانند محدودیت‌های بوم‌زیستی و الگوهای برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت) برای توضیح نتایج استفاده می‌شود. این ترکیب، از طریق تحلیل لایه‌ای داده‌ها انجام می‌شود: ابتدا داده‌های کمی برای شناسایی الگوها بررسی شده و تفسیر انتقادی اعمال می‌شود تا بدون فاصله از اصول عینی، استنتاج‌های عملی تولید شود [مانند رویکردهای ترکیبی در مطالعات شهری، ۱۸ و ۱۹].

در لایه رویکرد پژوهش، رویکرد تقلیل‌گرایانه انتخاب شده است که از نظریه‌های موجود در ادبیات (مانند عوامل موفقیت و موانع سرمایه‌گذاری شهری و شاخص‌های جهانی) آغاز می‌شود و آن‌ها را با داده‌های کمی و کیفی بررسی می‌کند تا فرضیات مقایسه‌ای بین تهران و شهرهای پیشرو مانند لندن، نیویورک و پاریس ارزیابی شود. از نظر روش‌شناسی، مطالعهٔ حاضر مبتنی بر روش مطالعهٔ موردی مقایسه‌ای مقطعی است که در مطالعات شهری تطبیقی به عنوان روشی معتبر برای مقایسهٔ پدیده‌ها در یک نقطهٔ زمانی شناخته می‌شود [۲۰ و ۲۱]. در این روش، تعداد واحدهای موردی شامل تهران به عنوان مورد اصلی و سه شهر پیشرو (لندن، نیویورک و پاریس) است که بر اساس معیارهای جهانی مانند رتبه‌بندی Kearney و GPCI انتخاب شده‌اند تا شکاف‌های تهران را از منظر شاخص‌های جهانی برجسته کنند.

یکی از معایب روش‌شناسی‌های مرسوم مانند نظرسنجی یا مصاحبه، مشکلات جمع‌آوری داده‌های قابل اعتماد در کشورهای با درآمد متوسط است که اغلب با محدودیت دسترسی و کیفیت داده‌ها همراه است [۲۱]. بنابراین، این پژوهش با تکیه بر منطق مقایسه بر پایهٔ داده‌های جهانی استوار است که نه از سر محدودیت، بلکه بر پایهٔ ماهیت مقایسه‌ای و چندمقیاسی موضوع انتخاب شده. داده‌های ثانویه از منابع معتبر بین‌المللی مانند UNCTAD، Kearney، Mercer، IMD، بانک جهانی و گزارش‌های رسمی به عنوان پایهٔ تحلیل تطبیقی به کار گرفته شده‌اند. شاخص‌های انتخابی (مانند FDI، EPI، CPI و IMD) بر اساس ادبیات موجود در مطالعات جذابیت شهری تعیین شده‌اند که معمولاً در گروه‌های عواملی مانند زیرساخت، محیط کسب‌وکار، سرمایه انسانی، کیفیت زندگی و محیط زیست طبقه‌بندی می‌شوند. برخی شاخص‌ها در سطح شهری (مانند GPCI) و برخی در سطح ملی (مانند EPI و CPI) محاسبه می‌شوند که به عنوان پروکسی برای مقایسهٔ شرایط کشور و شهرها استفاده شده است؛ با این‌حال، این ناهمسانی سطح به عنوان محدودیت روشی در نظر گرفته شده، زیرا ممکن است تفاوت‌های درون‌کشوری را نادیده گیرد، اما برای تحلیل حاضر مفید است.

در ادامه، برای سنجش روابط علت و معلولی میان موانع شناسایی‌شده، از روش DEMATEL استفاده شده است. به این‌منظور، برای تشکیل ماتریس ارتباط مستقیم DEMATEL، با استفاده از پرسشنامه، از نظرات ۱۲ تن از متخصصان شهرسازی و اقتصاد شهری بهره گرفته شد. روش نمونه‌گیری جامعهٔ آماری این پژوهش، گلوله‌برفی است که برای دسترسی به کارشناسان متخصص در حوزه‌های سخت‌دسترس مانند شهرسازی تهران مناسب است و با شروع از چند متخصص اولیه و ارجاع به دیگران، نمونه را گسترش می‌دهد. همچنین، کارشناسان با محدودیت حداقل ۱۰ سال تجربه حرفه‌ای در زمینه‌های مورد نظر و مقاطع تحصیلی کارشناسی ارشد و دکتری انتخاب شدند. روش DEMATEL شامل چهار گام اساسی است:

۱) تشکیل ماتریس ارتباط مستقیم (با میانگین حسابی نظرات کارشناسان برای ماتریس M)؛

۲) نرمال‌سازی ماتریس ارتباط مستقیم؛

۳) محاسبهٔ ماتریس ارتباط کامل؛

۴) ایجاد نمودار علّی.

نتایج حاصل از ماتریس به‌دست‌آمده به صورت زیر تحلیل می‌شود: جمع عناصر هر سطر (D) نشان‌دهندهٔ میزان تأثیرگذاری بر سایر عوامل است؛ جمع عناصر ستون (R) نشان‌دهندهٔ میزان تأثیرپذیری از سایر عوامل است؛ هرچه مقدار (D + R) عاملی بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با سایر عوامل دارد؛ و مقدار (D – R) با بیان قدرت تأثیرگذاری متغیر، در حالت مثبت، یک متغیر علت و در حالت منفی، معلول محسوب می‌شود.

از نظر هدف، پژوهش کاربردی است و نتایج آن برای سیاستگذاری شهری و بهبود جذابیت سرمایه‌گذاری تهران مفید خواهد بود. روش کار کلی شامل استخراج داده‌ها، تحلیل لایه‌ای عوامل، مقایسهٔ کمی، سنجش روابط علت ـ معلولی با DEMATEL و استنتاج عملی است. همچنین، در تحلیل داده‌ها، از رویکرد استدلال‌های منطقی بهره گرفته شده تا از وابستگی بیش از حد به استدلال مبتنی بر شهود اجتناب شود. در لایهٔ افق زمانی، پژوهش مقطعی است.

ادبیات پژوهش

مفهوم سرمایه‌گذاری شهری و اهمیت آن در کلان‌شهرها

مفهوم سرمایه‌گذاری شهری به عنوان یکی از ارکان اساسی اقتصاد شهری، به معنای تخصیص منابع مالی و غیرمالی به منظور ایجاد یا بهبود دارایی‌های اجتماعی و اقتصادی در محیط‌های شهری تعریف می‌شود [۲۲ و ۲۳]. بر اساس دیدگاه‌های اقتصادی کلاسیک، سرمایه‌گذاری شامل اجتناب از مصرف فعلی برای دستیابی به مصرف بیشتر در آینده است. این فرایند از مسیر تولید کالا و خدمات جدید، افزایش بهره‌وری عوامل تولید و کاهش هزینه‌های مبادله محقق می‌شود [۲۴]. مفهوم جذابیت برای جذب سرمایه و افزایش رقابت‌پذیری شهر، چندوجهی است و شامل دارایی‌های ارضی و بسیج آن‌ها برای توسعهٔ منطقه‌ای می‌شود [۲۵]. این مفهوم به عنوان عنصر اصلی قدرت نرم شناخته می‌شود و برای موفقیت در رقابت بین‌المللی، حتی در سطح ملی، اهمیت دارد [۲۶]. یک شهر جذاب برای سرمایه‌گذاری با محیطی مطلوب، منابع طبیعی موجود و نیروی کار متمرکز مشخص می‌شود. عوامل کلیدی مؤثر بر جذابیت نیز شامل زیرساخت‌ها، خدمات پشتیبانی و عناصر سیاسی ـ اداری است [۲۷]. در چارچوب شهری، این مفهوم فراتر از سرمایه‌گذاری مالی صرف می‌رود و شامل سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها، املاک، صنایع، خدمات و فناوری‌های نوآورانه می‌شود. همهٔ این‌ها به بهبود ظرفیت تولیدی شهرها و کارایی نظام‌های شهری کمک می‌کنند. این تعریف با تأکید بر جنبه‌های پویا، سرمایه‌گذاری را به عنوان فرایندی راهبردی برای مدیریت ریسک و ایجاد ارزش افزوده پایدار در نظر می‌گیرد. این دیدگاه در ادبیات اقتصادی شهری، مانند گزارش‌های بانک جهانی، به عنوان پایه‌ای برای الگوهای توسعهٔ یکپارچه شهری توصیف شده است [۲۸].

اهمیت سرمایه‌گذاری شهری در کلان‌شهرها، به‌ویژه به عنوان موتور محرکهٔ توسعه، انکارناپذیر است. کلان‌شهرها به عنوان کانون‌های اصلی جذب سرمایه‌گذاران عمل می‌کنند و بیش از ۶۰ درصد تولید ناخالص داخلی جهانی را پوشش می‌دهند [۱]. این اهمیت ناشی از نقش سرمایه‌گذاری در ایجاد اشتغال پایدار، افزایش درآمدهای شهرداری و بهبود کیفیت زندگی شهروندان است. این بهبود از مسیر تقویت زیرساخت‌ها، کاهش آلودگی محیطی و حمایت از زیست‌بوم‌های نوآوری حاصل می‌شود. مطالعات چند مانع اصلی را شناسایی می‌کنند: منابع مالی، مقررات قانونی و مسائل برنامه‌ریزی ساختاری [۳۰]. در مجموع، تعامل پیچیده‌ای بین خلاقیت، مصرف و توسعهٔ شهری وجود دارد. این تعامل رویکردهای جامع‌تری برای برنامه‌ریزی و مدیریت شهر می‌طلبد و بر رقابت بین شهرها در جذب سرمایه تأثیر می‌گذارد. ادبیات موجود غالباً بر جنبه‌های اقتصادی و راهبردی سرمایه‌گذاری شهری تمرکز دارد و آن را به عنوان پایه توسعهٔ یکپارچه توصیف می‌کند [۲۴ و ۲۸]، با این‌حال اغلب به چالش‌های سیاسی مانند تمرکز قدرت در کشورهای درحال‌توسعه کمتر می‌پردازد [۳۱]. این نقص مدل‌های نظری را ناقص می‌کند، زیرا عوامل نهادی و زیست‌محیطی را نادیده می‌گیرد. علاوه بر این، تأکید بیش از حد بر الگوهای غربی (مانند لندن و نیویورک) کاربرد این مفاهیم را در زمینه‌های محلی محدود می‌کند، جایی که ساختارهای درآمدی متفاوت (مانند وابستگی به عوارض ساختمانی) حاکم است. از آنجا که در رتبه‌بندی شهرهای جهانی، لندن، نیویورک و پاریس همواره در رتبه‌های برتر هستند، ساختار درآمدی آن‌ها به جهت قیاس با شهر تهران در جدول ۱ نمایان است. ساختار درآمدی حتی بدون داده‌های عددی دقیق برای همهٔ جنبه‌ها، استدلال منطقی نشان می‌دهد این رویکرد، واقعیت‌های عینی مانند فشار بر منابع را تشدید می‌کند.

جدول ۱. ساختار درآمدی شهرداری‌های منتخب

شهر	سهم عمده درآمد (درصد)	منبع درآمد اصلی	منبع داده
لندن	٪۷۰	مالیات محلی شهروندان[1] (مالیات شورایی که بر اساس ارزش خانه‌ها از ساکنان گرفته می‌شود) و نرخ‌های تجاری (مالیات کسب‌وکارها که بر اساس ارزش املاک تجاری محاسبه می‌شود).	[۳۲]
نیویورک	بیش از ۵۰ درصد	مالیات املاک (مالیات بر ارزش دارایی‌های ملکی) و مالیات فروش (مالیات بر خرید کالا و خدمات، مشابه مالیات بر ارزش افزوده؛ اما در ایالتی/محلی).	[۳۳]
پاریس	۷۱ درصد	مالیات محلی و کمک‌های دولتی (یارانه‌ها و کمک‌های مالی از دولت مرکزی یا نهادهای دیگر).	[۳۴]
تهران	بیش از ۵۰ درصد ساخت‌وساز و ۲۰ درصد مالیات بر ارزش افزوده	عوارض ساختمانی و تغییر کاربری؛ مالیات ارزش افزوده (جمع‌آوری ملی)	[۳۵]

انتظارات سرمایه‌گذاران و شهرها از یکدیگر (رقابت دوجانبه)

انتظارات سرمایه‌گذاران از شهرها عمدتاً بر کسب سود بیشتر متمرکز است که از مسیر افزایش درآمد (مانند فروش بیشتر و دسترسی به بازارهای جدید) و کاهش هزینه‌ها (از جمله دسترسی به نیروی کار ارزان، مواد اولیه، نوآوری و ریسک‌های قابل‌مدیریت) محقق می‌شود. در مقابل، شهرها به دنبال جذب سرمایه‌گذارانی هستند که اشتغال پایدار ایجاد کنند، اقتصاد شهری را با رشد ارزش افزوده پایدار تقویت کنند، درآمدهای شهرداری را برای تأمین هزینه‌های شهری افزایش دهند، کیفیت زندگی شهروندان را ارتقا دهند و محیط زیست را بهبود بخشند [۲۴]. این انتظارات دوجانبه، بر اساس الگوهای جذب سرمایه مانند PDM، نشان‌دهندهٔ تعاملی پویا است که در آن سرمایه‌گذاران به شهرهایی با زیست‌بوم نوآوری قوی، دسترسی‌های مناسب و ثبات اقتصادی گرایش دارند. گزارش‌های FDI Intelligence تأکید می‌کند که پایتخت‌های غربی مانند لندن و نیویورک به دلیل این عوامل، بیش از ۶۰ درصد FDI اروپا و آمریکا را جذب می‌کنند [۳۶].

رقابت دوجانبه بین سرمایه‌گذاران و شهرها، شهرها را به رقابت برای جذب سرمایه‌گذارانی وادار می‌کند که ارزش افزودهٔ بیشتر، اشتغال بالاتر، پایداری محیطی بهتر و درآمدزایی برای شهر فراهم آورند، در حالی که سرمایه‌گذاران به دنبال شهرهایی با بازارهای نهاده ارزان، شبکه‌سازی قوی و ساختار حقوقی مناسب هستند. این رقابت در پایتخت‌های غربی برجسته است؛ برای مثال، لندن در ۲۰۲۴ بیش از ۲۶۵ پروژه FDI جذب کرد [۵] و نیویورک بخشی از جذب ۱۵۱ میلیارد دلار FDI ایالات متحده را تشکیل داد [۴] که این امر به دلیل سهولت کسب‌وکار و حاکمیت خوب است. ادبیات موجود بر تعادل دوجانبه تأکید دارد، اما اغلب به تحریف‌های ناشی از سیاست‌های محلی در کشورهای درحال‌توسعه کمتر توجه می‌کند [۳۷]. این می‌تواند به مدل‌های ایده‌آل‌گرا منجر شود که واقعیت‌های عملی مانند بی‌ثباتی اقتصادی را نادیده می‌گیرند.

عوامل موفقیت و شروط لازم برای جذب سرمایه در شهرها

عوامل موفقیت در جذب سرمایه‌گذاری شهری به مجموعه‌ای از ویژگی‌های کلیدی وابسته است که شهرها را به مقاصد جذاب برای سرمایه‌گذاران تبدیل می‌کند. این عوامل شامل زیرساخت‌های پیشرفته، حاکمیت خوب شهری، سهولت انجام کسب‌وکار، نیروی انسانی ماهر، کیفیت زندگی مطلوب و سیاست‌های مشوق سرمایه‌گذاری است [۳]. بر اساس شاخص GCI، شهرهایی مانند لندن و نیویورک به دلیل زیرساخت‌های حمل‌ونقل پیشرفته (مانند شبکهٔ متروی لندن یا فرودگاه JFK)، نظام‌های حقوقی شفاف و زیست‌بوم‌های نوآوری (مانند Silicon Alley در نیویورک) در صدر رتبه‌بندی جذب سرمایه قرار دارند. این شهرها از سیاست‌های مالیاتی رقابتی و فرایندهای اداری سریع بهره می‌برند که به جذب بیش از ۱۰۰ میلیارد دلار سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی (FDI) در سال ۲۰۲۴ منجر شده است [۲].

شروط لازم برای جذب سرمایه‌گذاری شامل ثبات سیاسی و اقتصادی، نظام حقوقی شفاف، حمایت از حقوق مالکیت، بازار مصرف پویا و فرایندهای اداری کارآمد است. گزارش MQoLS (۲۰۲۵) نشان می‌دهد پاریس و برلین به دلیل کیفیت زندگی بالا و ثبات سیاسی، در جذب سرمایه‌گذاران موفق‌اند [۵۹]. سیاست‌های مشوق مانند معافیت‌های مالیاتی در نیویورک یا حمایت‌های

1. Council Tax

دولتی در لندن (مانند برنامه‌های City of London Corporation) در تضاد با تغییرات مداوم قوانین در برخی کشورها قرار دارد. یکی از موانع اصلی در ساماندهی شهرها و جذب سرمایه برای توسعهٔ پایدار، شکل‌گیری رانت‌های شهری به شکل‌های مختلف است. مداخلات دولتی، مانند خصوصی‌سازی و برنامه‌ریزی شهری، اغلب با هدایت سرمایه‌گذاری‌ها به سمت کسب رانت (مثل سودجویی از زمین یا امتیازهای خاص) به جای خلق ارزش جدید، به این مشکل دامن می‌زنند [۳۸]. همچنین، در بخش‌های با رشد سریع، اهمیت فزایندهٔ سرمایه‌های ناملموس (مانند دانش، فناوری و نوآوری) می‌تواند به توسعه کمک کند، اما رانت‌ها باعث می‌شوند این سرمایه‌گذاری‌ها نیز به شکاف بین ارزش‌گذاری‌ها و تولید واقعی منجر شوند [۳۹]. شهرنشینی سریع به چالش‌های قابل توجهی در برنامه‌ریزی و توسعهٔ شهری منجر شده است. اتکای شهرداری‌ها به درآمد حاصل از فروش تراکم به تصمیمات برنامه‌ریزی شده‌ای منجر شده است که منافع بازار املاک را بر نیازهای عمومی ترجیح می‌دهد [۴۰]. این گسترش سریع شهرها، کمبود منابع، تخریب محیط زیست و توسعهٔ نامنظم چشم‌اندازها را به دنبال دارد [۴۱]. برای پرداختن به این چالش‌ها، اهمیت گنجاندن دانش محلی در تصمیم‌گیری‌های شهری و اتخاذ رویکردهای مبتنی بر مکان برای دستیابی به پایداری اجتماعی مورد تأکید است [همان‌طور که در منابع پیشین اشاره شد].

این روند با ساختارهای قدرت متمرکز و نقش پیچیدهٔ آن‌ها در کلان‌شهرها چالش‌های متفاوتی به‌خصوص برای جذب سرمایه ایجاد می‌کند. یک رابطهٔ Uشکل معکوس بین امور مالی و رشد اقتصادی وجود دارد، به طوری که مناطق خارج از مراکز مالی اصلی، بیشترین آسیب‌پذیری را در برابر افراط در توسعهٔ مالی دارند [۴۲]. تمرکز تصمیم‌گیری شهری که اغلب ناشی از اقتدارگرایی است، می‌تواند نهادهای محلی را تضعیف کند و مانع توسعهٔ محلی شود [۴۳]. با این‌حال، دخالت دولت از مسیر شکل‌های مختلف واپایش، در صورت ترکیب با اختیارات مناسب و سیاست‌های حمایتی، می‌تواند به طور بالقوه ظرفیت کلان‌شهرها را افزایش دهد [۴۴]. پراکندگی زیاد اختیارات و نبود یک مرکز تصمیم‌گیری واحد در مناطق کلان‌شهری می‌تواند به توزیع نامتناسب درآمد و کاهش اثربخشی مدیریت منجر شود [۴۵]. با این‌حال، این چندپارگی سیاسی در مناطق شهری می‌تواند رشد جمعیت را افزایش دهد، اما تأثیر آن بر اشتغال و رشد درآمد محدود است [۴۶]. بحث تمرکز ـ تمرکززدایی در حکمرانی شهری تحت‌تأثیر سه نظریه اصلی است: اصلاحات شهری، انتخاب عمومی و منطقه‌گرایی جدید [۴۵]. در حالی که واپایش دولت بر مناطق شهری با هدف افزایش جذابیت و رقابت‌پذیری است، در صورت عدم ایجاد چارچوب مناسب، بر مشکلات جذب سرمایه شهری دامن می‌زند. ادبیات عوامل موفقیت را خوب پوشش می‌دهد، اما اغلب رانت و تمرکز قدرت را بدون ادغام آن‌ها، جداگانه بررسی می‌کند [۴۶]. این می‌تواند به تحلیل‌های ناقص منجر شود، زیرا تعاملات بین عوامل نهادی و اقتصادی را نادیده می‌گیرد.

سرمایه‌گذاری مولد و تنوع‌بخشی اقتصادی در کلان‌شهرها با رویکردهای مختلف

اقتصاد شهری پایدار با تنوع‌بخشی به فعالیت‌های اقتصادی و گذار به اقتصاد دانش‌بنیان محقق می‌شود که کیفیت زندگی شهری را تضمین می‌کند [۴۷]. در دوران صنعتی، صنایع به دنبال بازارهای نهاده و جمعیت متمرکز بودند، اما امروزه سرمایه‌گذاران خارجی، مکان‌هایی را ترجیح می‌دهند که هزینه‌های اطلاعات را به حداقل برسانند و صرفه‌جویی‌های ناشی از تجمع را ارائه دهند [۴۸]، زیرا هزینه‌های پنهان (قواعد ناکارآمد) مهم‌تر از هزینه‌های آشکار (دسترسی به بازار) شده‌اند. پژوهش‌ها نشان می‌دهد رقابت‌پذیری شهری نیازمند ایجاد تعادل بین تخصص‌گرایی و تنوع‌گرایی برای توسعهٔ پایدار است. اندرسون (۲۰۱۷) نشان می‌دهد هم تنوع و هم تخصص‌گرایی در شهرها وجود دارند، به طوری که مزایای تخصص‌گرایی در سطوح محلی محله‌ها رخ می‌دهد، در حالی که تنوع، مزایایی را در سطح شهر فراهم می‌کند، به‌ویژه برای شرکت‌های با فناوری پیشرفته و دانش‌محور [۴۹]. این موضوع از این مفهوم پشتیبانی می‌کند که اقتصادهای شهری بهینه، تنوع صنعتی را با خوشه‌های تخصصی محلی ترکیب می‌کنند. در ایران، تمرکز حاکمیتی و عدم یکپارچگی مدیریت شهری، شهرها را از تحولات جهانی عقب نگه داشته است. الگوی اقتصادی ایران، بقای سیاسی را بر توسعهٔ جامع اولویت می‌دهد و به جای رشد پایدار، بر نیازهای اساسی تمرکز دارد. این رویکرد، مشکلات ساختاری ایجاد کرده است که تنش‌های اجتماعی داخلی را انباشته می‌کند، زیرا نتوانسته است به طور کافی به چالش‌های اقتصادی کشور بپردازد [۵۰]. سرمایه‌گذاری مولد، خلق ارزش جدید، کاهش هزینهٔ مبادله، افزایش صادرات، رقابت‌پذیری، خلاقیت و اشتغال را به دنبال دارد، به خلاف سرمایه‌گذاری جمع صفر که رانت را بازتوزیع می‌کند. نوآوری با تبادل

اطلاعات در عصر منابع آزاد رقابت شهرها را شدت می‌بخشد [۵۱]. همچنین، تغییر نگرش مدیریت شهری از کوتاه‌نگری به آینده‌نگری ضروری است [۵۲]. سرمایه‌گذاری جمع صفر به نوعی سرمایه‌گذاری اشاره دارد که در آن منفعت یک طرف فقط از زیان طرف دیگر به دست می‌آید، بدون خلق ارزش جدید یا رشد اقتصادی، و تنها منابع موجود (مانند رانت) را بازتوزیع می‌کند.

در این زمینه، تفاوت بین سرمایه‌گذاری مولد و غیرمولد برجسته است. سرمایه‌گذاری مولد بر فعالیت‌های با بهره‌وری بالا تمرکز دارد که ارزش افزوده ایجاد می‌کند، اشتغال پایدار فراهم می‌آورد و رونق اقتصادی را افزایش می‌دهد. این رویکرد که در شهرهای پیشرو مانند لندن و نیویورک حاکم است، درآمد شهرداری را از طریق مالیات بر ارزش افزوده (که مستقیم به رونق وابسته است) افزایش می‌دهد و حفظ سرمایه‌های موجود (مانند زیرساخت‌ها و منابع طبیعی) را تضمین می‌کند. در مقابل، در تهران، سرمایه‌گذاری غیرمولد (ساخت‌وساز محور) غالب است، جایی که شهرداری برای تأمین مالی سریع، به فروش تراکم و عوارض متکی است. این نگرش، بی‌توجه به مسائل بوم‌زیستی، توسعه را نامتوازن کرده و با اصول آمایش سرزمین در تعارض است. ساختار درآمدی شهرداری تهران که سهم عمده‌ای از آن (حدود ۵۰ ـ ۶۰ درصد) از عوارض ساختمانی تأمین می‌شود، انگیزه‌ای برای جذب سرمایه‌گذاران مولد ایجاد نمی‌کند، زیرا مالیات ارزش افزوده در سطح ملی جمع‌آوری شده و توزیع آن به گونه‌ای است که تهران از رونق خود بهرهٔ مستقیم نمی‌برد [۵۳]. سهم مالیات بر ارزش افزوده تنها ۲۰ درصد از درآمد شهرداری است و ۴۲ درصد از کل درآمد مالیاتی کشور را تشکیل می‌دهد، اما ملی توزیع می‌شود. این رویکرد، فعالیت‌های کم‌بازده را حفظ کرده و جایگزینی با فعالیت‌های بهره‌ور را مانع می‌شود، در حالی که در مدل مولد، افزایش بهره‌وری (مانند گذار به صنایع دانش‌بنیان) کیفیت را بر کمیت اولویت می‌دهد و با آمایش همخوانی دارد. استدلال برهان خلفی اینجا مفید است: اگر رویکرد غیرمولد ادامه یابد، تمرکز بیش از حد و تخریب منابع اجتناب‌ناپذیر است که این واقعیت عینی را حتی بدون داده‌های دقیق نشان می‌دهد.

موانع سرمایه‌گذاری در کلان‌شهرها با تمرکز بر تهران

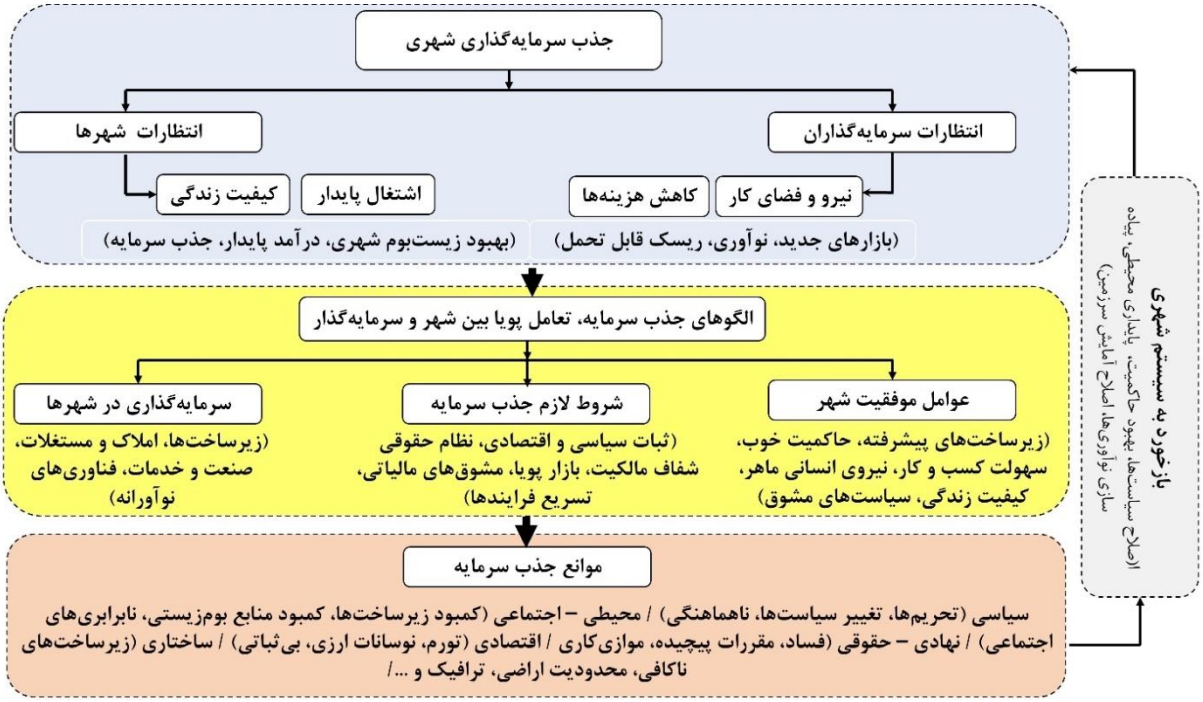
موانع سرمایه‌گذاری در کلان‌شهرها به دسته‌های ساختاری، اقتصادی، نهادی و حقوقی، اجتماعی و محیطی و سیاسی تقسیم می‌شوند که هر یک به طور مستقیم جذابیت شهرها را برای سرمایه‌گذاران تحت تأثیر قرار می‌دهند. بر اساس گزارش‌های جهانی، مشکلات ساختاری مانند زیرساخت‌های ناکافی یا فرسوده، کمبود زمین مناسب، ترافیک شدید، و ناکارآمدی خدمات عمومی از موانع اصلی هستند [۵۴ و ۶۶]. در تهران، این مسائل با شدت بیشتری نمود دارند؛ برای مثال، فرسودگی شبکهٔ حمل‌ونقل عمومی و ترافیک مزمن، هزینه‌های لجستیک را افزایش داده و جذابیت سرمایه‌گذاری را کاهش می‌دهد [۳۷]. در مقابل، پایتخت‌های غربی مانند لندن و نیویورک با سرمایه‌گذاری‌های کلان در زیرساخت‌ها (مانند پروژهٔ Crossrail لندن با بودجهٔ ۱۹ میلیارد پوند تا ۲۰۲۴)، این موانع را به حداقل رسانده‌اند. علاوه بر این، مشکلات محیطی مانند آلودگی هوای تهران (رتبهٔ ۱۳۲ در شاخص عملکرد محیطی) در مقایسه با برلین (رتبهٔ ۱۴) چالش دیگری است که سرمایه‌گذاران را به دلیل نگرانی‌های زیست‌محیطی و کیفیت زندگی دلسرد می‌کند.

عوامل اقتصادی و نهادی نیز نقش مهمی در فرار سرمایه از تهران ایفا می‌کنند. بی‌ثباتی اقتصادی، از جمله تورم مزمن (بالای ۴۰ درصد در ۲۰۲۵ بر اساس IMF) و نوسانات ارزی، پیش‌بینی‌پذیری بازار را برای سرمایه‌گذاران کاهش داده است، در حالی که لندن با تورم زیر ۳ درصد و ثبات ارزی، محیطی امن‌تر ارائه می‌دهد [۲]. از منظر نهادی، پیچیدگی مقررات، طولانی بودن فرایند صدور مجوزها، و فساد اداری در تهران (رتبهٔ ۱۴۷ در شاخص ادراک فساد [۵۳] عوامل سیاسی مانند تغییرات مداوم سیاست‌های شهری و تحریم‌های بین‌المللی نیز تهران را در مقایسه با پایتخت‌های غربی که از هماهنگی دولت و مدیریت شهری بهره می‌برند، در موقعیت ضعیف‌تری قرار می‌دهد. با این‌حال، توانایی‌هایی مانند بازار مصرف تهران فرصت‌هایی برای رفع این موانع از مسیر اصلاحات هدفمند فراهم می‌کند. در تهران، این موانع با نگرش ساخت‌وساز محور شهرداری تشدید می‌شود؛ جایی که تمرکز بر درآمد فوری از فروش تراکم، مسائل مانند فرونشست زمین و کمبود آب را نادیده می‌گیرد و حفظ سرمایه‌های موجود را تهدید می‌کند. این رویکرد که ریشه در تأمین مالی کوتاه‌مدت دارد، توسعه را به سمت فعالیت‌های غیرمولد سوق می‌دهد. در مقابل، سرمایه‌گذاری مولد با تمرکز بر بهره‌وری بالا، فعالیت‌های کم‌بازده را حذف کرده و رونق پایدار ایجاد می‌کند که درآمد شهرداری را از مسیر ارزش افزوده بدون فشار بر منابع افزایش می‌دهد. با این‌حال، اگر رویکرد مولد اتخاذ شود، تمرکز بیش از حد کاهش می‌یابد.

مرزهای استهلاک زیرساخت اجتماعی یک کلان‌شهر مبتنی بر ظرفیت شهری

رشد سریع شهرنشینی در کشورهای درحال‌توسعه، فقر شهری را که اغلب از ظرفیت دولت‌ها برای ارائهٔ خدمات و زیرساخت‌های کافی فراتر است دامن می‌زند [۶۰]. این شهرنشینی سریع به نابرابری‌های زیرساختی منجر شده است که از ویژگی‌های بارز توسعهٔ شهری در مقیاس منطقه‌ای و محلی هستند [۶۱]. به عنوان مثال، در اندونزی، شیوه‌های رانت‌خواری در پروژه‌های زیرساختی به امری رایج تبدیل شده است و دولت‌های محلی منافع سیاسی ـ اقتصادی را در اسناد برنامه‌ریزی توسعه رسمی می‌کنند [۵۶]. این رفتار رانت‌خواری می‌تواند منابع درنظرگرفته‌شده برای زیرساخت‌های عمومی را کاهش دهد، زیرا افراد برای دریافت منافع شخصی از درآمدهای مالیاتی رقابت می‌کنند [۵۷]. تهران، پایتخت ایران، شهرنشینی سریع و رشد جمعیت را تجربه کرده که به چالش‌های مختلفی در توسعهٔ شهری منجر شده است. گسترش شهر به گسترش بی‌رویه شهری منجر شده است، به طوری که ۲۶/۷ درصد از رشد بین سال‌های ۱۹۵۶ تا ۲۰۱۱ به گسترش بی‌رویه نسبت داده شده است [۳۱]. این رشد واپایش‌نشده به تخریب محیط زیست و محیط‌های روستایی – شهری منجر شده است.

توسعه‌های شهری شامل شیوه‌های رانت‌خواری که سود را بر زیرساخت‌های اجتماعی و پایداری اولویت می‌دهد، به تجاری‌سازی زمین و تخلیهٔ مردم منجر می‌شوند [۵۴]. به طور مشابه، گهگاه، دولت‌های محلی منافع سیاسی ـ اقتصادی را در برنامه‌های توسعه رسمی می‌کنند و رانت‌خواری را در پروژه‌های زیرساختی امکان‌پذیر می‌سازند [۵۵]. این شیوه‌ها به تخریب زیرساخت‌های اجتماعی و تمرکز بر دستاوردهای کوتاه‌مدت به جای پایداری شهری بلندمدت کمک می‌کنند و در نهایت، بی‌تفاوتی نسبت به بافت اجتماعی شهر را تقویت می‌کنند. در یک جمع‌بندی، رشد شهری چالش‌های قابل توجهی را برای پایداری زیست‌محیطی و مدیریت منابع ایجاد می‌کند. ردپای زیست‌محیطی و منابع شهرها با رشد جمعیت افزایش می‌یابد، اما تراکم راهبردی شهری و زیرساخت‌های کارآمد از نظر منابع می‌تواند به طور بالقوهٔ این تأثیرات را کاهش دهد [۵۶]. دامنهٔ تعامل بین شهروندان و امکانات شهری بر شاخص‌های اجتماعی ـ اقتصادی و هزینه‌های زیرساخت تأثیر می‌گذارد و دامنه‌های تعامل بزرگ‌تر به بهبود نتایج منجر می‌شود [۵۷]. با این‌حال، عدم تعادل جمعیتی می‌تواند مانع توسعهٔ پایدار منطقه‌ای شود [۵۸]. در واقع، رشد شهری چالش‌هایی را برای مدیریت منابع ایجاد می‌کند که زیرساخت‌ها را تخریب و در بلندمدت زیرساخت اجتماعی شهر را هم از بین می‌برد. بر اساس ادبیات بررسی‌شده، چارچوب مفهومی پژوهش حاضر در شکل ۱ به تصویر درآمده است.



شکل ۱. چارچوب مفهومی

نتایج

در ادامه، هفت شاخص جهانی در دسته‌های مختلف بررسی و در جدول‌های پیش رو ارائه می‌شود. این تحلیل‌ها بر پایهٔ هدف پژوهش (واکاوی مقایسه‌ای جذابیت سرمایه‌گذاری در تهران با پایتخت‌های برتر بر اساس داده‌های جهانی ۲۰۲۴–۲۰۲۵) و سؤال اصلی پژوهش نگارش شده‌اند. هر بحث بر عوامل موفقیت (زیرساخت‌های پیشرفته، حاکمیت خوب، سهولت کسب‌وکار، نیروی انسانی ماهر، کیفیت زندگی، سیاست‌های مشوق) و موانع (ساختاری، اقتصادی، نهادی، محیطی، سیاسی) تمرکز دارد و نشان می‌دهد چگونه تهران در مقایسه با شهرهای غربی تفاوت دارد. همچنین، نگرش ساخت‌وساز محور در تهران که بر سرمایه‌گذاری غیرمولد تأکید دارد، حفظ سرمایه‌ها را تهدید می‌کند و با مسائل بوم‌زیستی تعارض دارد، در حالی که الگوی مولد می‌تواند با آمایش همخوانی داشته باشد. ساختار درآمدی نیز این را تأیید می‌کند؛ در لندن و نیویورک درآمد بر پایهٔ رونق است، اما در تهران بر ساخت‌وساز.

جدول ۲. شاخص جذب سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی (FDI Intelligence / EY Attractiveness Survey 2025)

رتبه	شهر/کشور	تعداد پروژه‌های FDI (۲۰۲٤)	توضیح
۱	لندن	۲۶۵	تمرکز بر خدمات مالی و فناوری
۲	پاریس	۱۸۰	سیاست‌های مشوق در نوآوری
۳	مادرید	۱۵۰	رشد در انرژی تجدیدپذیر
۴	فرانکفورت	۱۴۰	مرکز مالی اروپا
۵	بارسلونا	۱۳۰	جذب استارت‌آپ‌ها
۶	آمستردام	۱۲۰	زیرساخت دیجیتال قوی
۷	دوبلین	۱۱۰	سهولت کسب‌وکار بالا
۸	برلین	۱۰۰	تمرکز بر AI و فناوری
۹	میلان	۹۵	صنعت مد و تولید
۱۰	ورشو	۹۰	رشد اقتصادی شرق اروپا
-	**تهران**	**(خارج از رتبه‌بندی) ۵**	**موانع تحریم و بی‌ثباتی**

این جدول تعداد پروژه‌های FDI جذب‌شده توسط شهرها در ۲۰۲۴ را نشان می‌دهد. شهرهای برتر مانند لندن (۲۶۵ پروژه) و پاریس (۱۸۰ پروژه) به دلیل زیرساخت‌های پیشرفته و سیاست‌های مشوق موفق‌اند. تهران با تنها ۵ پروژهٔ عقب‌مانده که به موانع سیاسی (تحریم‌ها) و اقتصادی (تورم) مربوط است. این شکاف جذب سرمایه را محدود کرده و توسعهٔ پایدار را تهدید می‌کند.

جدول ۳. بررسی رتبه‌بندی شهرهای جهانی (A.T. Kearney Global Cities Index 2025)

رتبه	شهر	امتیاز (از ۱۰۰)	توضیح
۱	نیویورک	۱۰۰	مرکز مالی و نوآوری جهانی
۲	لندن	۹۸.۵	تعامل سیاسی و فرهنگی بالا
۳	پاریس	۹۵	تجربهٔ فرهنگی و سرمایه انسانی
۴	توکیو	۹۳	فناوری و زیرساخت پیشرفته
۵	پکن	۹۱	رشد اقتصادی سریع
۶	سنگاپور	۸۹	سهولت کسب‌وکار
۷	لس‌آنجلس	۸۷	صنعت سرگرمی
۸	سیدنی	۸۵	کیفیت زندگی بالا
۹	هنگ‌کنگ	۸۳	مرکز مالی آسیا
۱۰	شانگهای	۸۱	نوآوری و تجارت
-	**تهران**	**خارج از رتبه‌بندی**	**موانع سیاسی و محیطی**

جذابیت شهرها بر اساس نوآوری، سرمایه انسانی و تعامل سیاسی ارزیابی می‌شود. نیویورک (۱۰۰ امتیاز) و لندن (۹۸/۵ امتیاز) به دلیل نیروی انسانی ماهر و زیست‌بوم نوآوری برترند. تهران خارج از رتبه‌بندی است و با موانع نهادی (پیچیدگی مقررات) و محیطی (آلودگی) مواجه است. این داده‌ها نیاز به اصلاحات ساختاری را نشان می‌دهد و محدودیت‌های بوم‌زیستی تهران را تأیید می‌کند.

جدول ٤. شاخص کیفیت زندگی (Mercer Quality of Living Survey 2025)

رتبه	شهر	امتیاز (از ۱۰۰)	توضیح
۱	زوریخ	۹۸	سلامت و زیرساخت عالی
۲	وین	۹۷	فرهنگ و امنیت بالا
۳	کپنهاگ	۹۶	پایداری محیطی
۴	ژنو	۹۵	آموزش و بهداشت
۵	فرانکفورت	۹۴	سهولت حمل‌ونقل
۶	آمستردام	۹۳	کیفیت زندگی شهری
۷	ونکوور	۹۲	طبیعت و تنوع
۸	برن	۹۱	ثبات اقتصادی
۹	بازل	۹۰	نوآوری و سلامت
۱۰	سیدنی	۸۹	تفریح و امنیت
–	**تهران**	**خارج از رتبه‌بندی**	**چالش‌های محیطی و اجتماعی**

بر پایهٔ جدول ۴، شهرهای برتر مانند زوریخ (۹۸ امتیاز) و وین (۹۷ امتیاز) به دلیل پایداری محیطی موفق‌اند. تهران خارج از رتبه‌بندی است و با موانع اجتماعی (نابرابری) و محیطی (آلودگی، کمبود آب) روبه‌رو. تمرکز کوتاه‌مدت تهران بر درآمدهای فوری از فروش تراکم کیفیت زندگی را تضعیف می‌کند؛ همان‌طور که برگسن و همکاران[1] (۲۰۱۷) و کولچیک ـ دینوفسکا و استاکرزاک[2] (۲۰۲۲) به ضرورت تعادل توسعه با ظرفیت زیست‌محیطی اشاره دارند. علاوه بر این، تمرکز کوتاه‌مدت در برنامه‌ریزی شهری تهران، مانند اولویت‌دهی به درآمدهای سهل‌الوصول و فوری از فروش تراکم، کیفیت زندگی را تضعیف کرده و از آینده‌نگری برای بهبود پایدار غفلت می‌کند که این امر با ادبیات بارداوسکینه و پاکالنیس[3] (۲۰۱۲) همخوانی دارد.

جدول ۵. شاخص عملکرد محیطی (Yale EPI 2024)

رتبه	کشور	امتیاز (از ۱۰۰)	توضیح
۱	دانمارک	۷۷.۹	سیاست‌های سبز قوی
۲	انگلستان	۷۵.۳	کاهش انتشارات
۳	فنلاند	۷۵.	حفاظت جنگل‌ها
۴	مالت	۷۴.۷	مدیریت آب
۵	سوئد	۷۲.۷	انرژی تجدیدپذیر
۶	لوکزامبورگ	۷۲.۳	کیفیت هوا
۷	اسلوونی	۷۲.	تنوع زیستی
۸	اتریش	۷۱.۳	کشاورزی پایدار
۹	سوئیس	۷۰.۵	حفاظت اکوسیستم
۱۰	ایسلند	۷۰.۲	انرژی پاک
۱۳۲	**ایران**	**٤۳.۷**	**چالش‌های آلودگی و آب**

در جدول ۵، پایداری محیطی کشورها ارزیابی می‌شود. این ارزیابی شاید در ارتباط مستقیم با شهر تهران نباشد، اما با بررسی شرایط کلی کشوری، نگاهی درست از عملکرد کلی کشور به ما می‌دهد. دانمارک (۷۷/۹ امتیاز) و انگلستان (۷۵/۳ امتیاز) به دلیل سیاست‌های سبز موفق‌اند. ایران (۴۳/۷ امتیاز، رتبهٔ ۱۳۲) با چالش‌های محیطی مانند آلودگی و کمبود آب مواجه است که جذابیت تهران را کاهش می‌دهد. این داده‌ها محدودیت‌های بوم‌زیستی را تأیید می‌کند، همان‌طور که فستوس و همکاران[4] (۲۰۲۰) و برگسن و همکاران (۲۰۱۷) به پیامدهای ناپایداری ناشی از گسترش نامتوازن شهری اشاره دارند. همچنین، تمرکز

1. Bergesen et al
2. Kulczyk-Dynowska & Stacherzak
3. Bardauskienė & Pakalnis
4. Festus et al

کوتاه‌مدت شهرهای ایران و تهران در سیاست‌های شهری (مانند فروش تراکم به جای سرمایه‌گذاری در پایداری محیطی) این چالش‌ها را تشدید می‌کند، که با تحلیل کرم‌پور (۲۰۲۰) از اولویت‌دهی به منافع بازار املاک هم‌راستاست. این رویکرد غیرمولد، حفظ سرمایه‌های محیطی را تهدید کرده و با اصول آمایش (مانند تمرکززدایی) در تعارض است.

جدول ٦. شاخص ادراک فساد (Transparency CPI 2024)

رتبه	کشور	امتیاز (از ۱۰۰)	توضیح
۱	دانمارک	۹۰	شفافیت بالا
۲	فنلاند	۸۷	نظام حقوقی قوی
۳	نیوزیلند	۸۵	واپایش فساد
۴	نروژ	۸۴	حاکمیت خوب
۵	سنگاپور	۸۳	سهولت کسب‌وکار
۶	سوئد	۸۲	شفافیت اداری
۷	سوئیس	۸۲	مبارزه با فساد
۸	هلند	۸۰	قوانین ضدفساد
۹	کانادا	۷۶	نظارت عمومی
۱۰	آلمان	۷۸	واپایش نهادی
۱٤۷	**ایران**	**۲۵**	**چالش‌های فساد اداری**

در ارزیابی شفافیت نهادی، دانمارک (۹۰ امتیاز) و فنلاند (۸۷ امتیاز) به دلیل شفافیت موفق‌اند. ایران (۲۵ امتیاز، رتبهٔ ۱۴۷) با موانع نهادی مانند فساد مواجه است. تمرکز کوتاه‌مدت تهران بر رانت‌خواری این موانع را تشدید می‌کند و حفظ منابع را مانع می‌شود.

جدول ۷. شاخص سهولت کسب‌وکار (World Bank B-READY 2025**)**

رتبه	اقتصاد	امتیاز (از ۱۰۰)	توضیح
۱	سنگاپور	۸۳	مقررات ساده
۲	دانمارک	۸۲	فرایندهای سریع
۳	هنگ‌کنگ	۸۱	سهولت تجارت
۴	نیوزیلند	۸۰	حمایت از SMEها
۵	انگلستان	۷۹	نظام حقوقی شفاف
۶	نروژ	۷۸	نوآوری
۷	گرجستان	۷۷	اصلاحات ساختاری
۸	استونی	۷۶	دیجیتال‌سازی
۹	فنلاند	۷۵	پایداری
۱۰	لتونی	۷۴	دسترسی به بازار
۱۲۷	**ایران**	**۵۸**	**پیچیدگی اداری**

در جدول ۷، سنگاپور (۸۳ امتیاز) و دانمارک (۸۲ امتیاز) به دلیل فرایندهای ساده موفق‌اند. ایران (۵۸ امتیاز، رتبهٔ ۱۲۷) با پیچیدگی‌های اداری روبه‌رو است. اولویت‌دهی تهران به درآمدهای فوری بر اصلاحات ساختاری اولویت دارد و محدودیت‌های بوم‌زیستی را تشدید می‌کند. این داده‌ها با تمرکز کوتاه‌مدت تهران در سیاستگذاری شهری هم‌راستا هستند، جایی که تصمیمات مبتنی بر درآمدهای سهل‌الوصول و فوری (مانند فروش تراکم ساختمانی) بر اصلاحات ساختاری برای بهبود فرایندهای کسب‌وکار اولویت دارد. این رویکرد، نه تنها رقابت‌پذیری را کاهش می‌دهد، بلکه با فشار بر منابع محدود (مانند زمین و زیرساخت‌ها) محدودیت‌های بوم‌زیستی را تشدید می‌کند که با تحلیل فستوس و همکاران (۲۰۲۰) از توسعهٔ نامتوازن همخوانی دارد. الگوی مولد می‌تواند با تمرکز بر بهره‌وری، حفظ سرمایه‌ها را تضمین کند.

جدول ۸. شاخص رقابت‌پذیری (IMD World Competitiveness Ranking 2025 [۶۵])

رتبه	کشور	امتیاز (از ۱۰۰)	توضیح
۱	سوئیس	۱۰۰	کارایی دولت بالا
۲	سنگاپور	۹۷.۵	زیرساخت پیشرفته
۳	دانمارک	۹۶.۱	نوآوری
۴	ایرلند	۹۳.۹	سهولت کسب‌وکار
۵	هنگ‌کنگ	۹۳.۶	تجارت آزاد
۶	سوئد	۹۲.۵	کیفیت زندگی
۷	امارات	۹۱.۶	سرمایه‌گذاری خارجی
۸	هلند	۹۱.۳	فناوری
۹	تایوان	۹۰.۸	صادرات
۱۰	نروژ	۹۰.۲	پایداری
–	**ایران**	**خارج از رتبه‌بندی**	**موانع اقتصادی**

در جدول ۸ سوئیس (۱۰۰ امتیاز) و سنگاپور (۹۷/۵ امتیاز) به دلیل نوآوری موفق‌اند. ایران خارج از رتبه‌بندی است و با موانع اقتصادی (بی‌ثباتی) مواجه است. اولویت سود فوری تهران بر سرمایه‌گذاری بلندمدت غالب است. این داده‌ها با تمرکز کوتاه‌مدت تهران هم‌راستا هستند، جایی که اولویت بقای سیاسی و سود فوری (مانند درآمدهای حاصل از فروش تراکم) بر سرمایه‌گذاری در نوآوری و زیرساخت‌های بلندمدت غالب است، همان‌طور که کژانوف[1] (۲۰۲۳) و بارداوسکینه و پاکالنیس (۲۰۱۲) به نیاز تغییر نگرش به آینده‌نگری اشاره دارند. همچنین، محدودیت‌های بوم‌زیستی تهران، مانند فشار بر منابع طبیعی، با این موانع ترکیب می‌شود و ظرفیت جذب سرمایه پایدار را کاهش می‌دهد. الگوی مولد می‌تواند با جایگزینی فعالیت‌ها، حفظ سرمایه‌ها را تقویت کند.

جدول ۹.

	شهری			کشوری			
محدوده / امتیاز	**FDI (2024)**	**Global Cities, Kearne (2025)**	**Mercer QoL (2024)**	**EPI (Yale 2024)**	**CPI (Transparency, 2024)**	**B-READY (World Bank, 2025)**	**IMD (2025)**
لندن (انگلیس)	۲۶۵	۹۸.۵	۸۸	۷۵.۳	۷۱	۷۹	۸۸.۲
پاریس (فرانسه)	۱۸۰	۹۵	۸۶	۶۶.۵	۷۱	۷۶	۸۷.۰
نیویورک (امریکا)	۲۰۰	۱۰۰	۸۵	۶۸.۷	۷۶	۷۸	۸۹.۵
زوریخ (سوئیس)	۸۰	۸۰	۹۸	۷۰.۵	۸۲	۷۴	۱۰۰
وین (اتریش)	۷۰	۷۹	۹۷	۷۱.۳	۷۱	۷۵	۸۶.۰
کپنهاگ (دانمارک)	۷۵	۷۸	۹۶	۷۷.۹	۹۰	۸۲	۹۶.۱
ژنو (سوئیس)	۶۵	۷۷	۹۵	۷۰.۵	۸۲	۷۴	۱۰۰
فرانکفورت (آلمان)	۱۴۰	۷۶	۹۴	۶۲.۹	۷۸	۷۷	۸۵.۵
آمستردام (هلند)	۱۲۰	۸۲	۹۳	۶۶.۱	۸۰	۷۴	۹۱.۳
سیدنی (استرالیا)	۶۰	۸۵	۸۹	۶۰.۱	۷۵	۷۷	۸۸.۰
تهران (ایران)	۵ (بدون رتبه)	(بدون رتبه)	(بدون رتبه)	۴۳.۷ (رتبه ۱۳۲)	۲۵ (رتبه ۱۴۷)	۵۸ (رتبه ۱۲۷)	(بدون رتبه)

1. Kozhanov

با مقایسهٔ هفت شاخص، شکاف عمیق تهران با شهرهای برتر مانند لندن و نیویورک نمایان می‌شود. این شهرها به دلیل ثبات و نوآوری موفق‌اند، در حالی که تهران با موانع ساختاری (زیرساخت‌های فرسوده)، اقتصادی (تورم) و نهادی (فساد) روبه‌رو است. پیشنهادها: رفع موانع نهادی با شفاف‌سازی، سرمایه‌گذاری در پایداری محیطی، سیاست‌های مشوق برای FDI و تغییر به رویکرد بلندمدت با تمرکز بر سرمایه‌گذاری مولد. این داده‌ها با تحلیل زالی و همکاران (۲۰۲۲) از توسعهٔ نامتوازن تهران به دلیل تمرکز قدرت همخوانی دارد. محدودیت‌های بوم‌زیستی تهران، مانند کمبود آب و آلودگی، ظرفیت جذب سرمایه بیش از حد را محدود می‌کند که با ادبیات پایداری شهری هم‌راستاست و نشان می‌دهد توسعه باید با ظرفیت زیست‌محیطی تعادل یابد. همچنین، تمرکز کوتاه‌مدت تهران در برنامه‌ریزی شهری، مانند رانت‌خواری و فروش تراکم، رقابت‌پذیری را کاهش داده و از آینده‌نگری غفلت می‌کند. تحلیل حاضر پیشنهاد می‌دهد:

- رفع موانع نهادی با شفاف‌سازی فرایندها
- سرمایه‌گذاری در پایداری محیطی برای ارتقای EPI[1]،
- سیاست‌های مشوق برای افزایش FDI و رقابت‌پذیری شهر
- تغییر پارادایم به سمت آینده‌نگری برای تعادل بین درآمدهای آنی و سهل‌الوصول و توسعهٔ پایدار، با تمرکز بر سرمایه‌گذاری مولد برای حفظ سرمایه‌ها و همخوانی با آمایش.

سنجش موانع عدم سرمایه‌گذاری

بر اساس بررسی ادبیات پژوهش و تحلیل‌های پیشین، موانع اصلی عدم جذب سرمایه در شهر تهران شناسایی و در دسته‌بندی‌های ساختاری طبقه‌بندی شده‌اند که این دسته‌بندی در جدول ۱۰ به تفصیل نمایان است. بر این اساس، همان‌طور که در بخش روش‌شناسی توضیح داده شد، سنجش روابط علت و معلولی میان این موانع با بهره‌گیری از فن DEMATEL انجام خواهد پذیرفت تا الگوهای تأثیرگذاری و وابستگی میان آن‌ها روشن شود.

جدول ۱۰. دسته‌بندی موانع

دسته‌بندی موانع	موانع اصلی
ساختاری	فرسودگی زیرساخت‌ها
	ناکارآمدی خدمات عمومی و کمبود زمین مناسب
	رشد نامتوازن و گسترش بی‌رویه شهری
اقتصادی	تورم مزمن و نوسانات ارزی
	بی‌ثباتی اقتصادی کلی
	وابستگی ساختار درآمدی شهرداری به ساخت‌وساز
نهادی و حقوقی	پیچیدگی مقررات و طولانی بودن فرایندها
	فساد اداری و عدم شفافیت
	تغییرات مداوم قوانین و ناهماهنگی مدیریتی
محیطی و بوم‌زیستی	آلودگی هوا و کمبود آب
	فرونشست زمین و فشار بر منابع طبیعی
	نادیده گرفتن پایداری محیطی در برنامه‌ریزی
سیاسی و اجتماعی	تحریم‌های بین‌المللی
	تمرکز قدرت متمرکز و رویکرد کوتاه‌مدت سودمحور
	نابرابری‌های اجتماعی و کیفیت زندگی پایین

روش DEMATEL برای تحلیل روابط علت و معلولی میان موانع عدم جذب سرمایه در شهر تهران به کار گرفته شد. این روش شامل مراحل زیر است: ابتدا ماتریس روابط مستقیم (A) از میانگین نظرات ۱۲ کارشناس حوزهٔ اقتصاد و شهرسازی تشکیل

1. Environmental Performance Index

شد، سپس این ماتریس نرمال‌سازی شد و پس از محاسبهٔ ماتریس روابط کل (T) با فرمول (I - D)^(-1) = T (که I ماتریس همانی است)، مقادیر D (جمع ردیف‌های T، نشان‌دهندهٔ میزان تأثیرگذاری)، R (جمع ستون‌های T، نشان‌دهندهٔ میزان تأثیرپذیری)، D+R (برجستگی عامل) و D-R (تفاوت علت و معلول، مثبت برای عوامل علت و منفی برای معلول) استخراج شدند. پس از نرمال‌سازی داده‌ها، نتایج بر اساس جدول ۱۱ به دست آمد که اعداد آن پس از بررسی مجدد و محاسبهٔ دقیق با ابزار کدنویسی در بستر پایتون، تأیید شدند.

جدول ۱۱. ماتریس دیمتل

مولفه	D	R	D+R	D-R
ساختاری	۱۸.۰۰۷	۱۵.۳۹۲	۳۳.۳۹۹	۲.۶۱۵
اقتصادی	۱۶.۶۰۳	۱۷.۸۷۲	۳۴.۴۷۵	-۱.۲۶۹
نهادی و حقوقی	۱۶.۷۹۴	۱۷.۷۸۷	۳۴.۵۸۱	-۰.۹۹۳
محیطی و بوم‌زیستی	۱۷.۱۸۹	۱۷.۱۲	۳۴.۳۰۹	۰.۰۶۹
سیاسی و اجتماعی	۱۷.۲۷۷	۱۷.۶۹۹	۳۴.۹۷۶	-۰.۴۲۲
زیرمؤلفه				
فرسودگی زیرساخت‌ها	۱۲.۹۱۲	۱۲.۵۵۹	۲۵.۴۷۱	۰.۳۵۳
ناکارآمدی خدمات عمومی و کمبود زمین مناسب	۱۲.۰۱۸	۱۲.۳۷۷	۲۴.۳۹۵	-۰.۳۵۹
رشد نامتوازن و گسترش بی‌رویه شهری	۱۳.۰۵۳	۱۲.۶۵۱	۲۵.۷۰۴	۰.۴۰۲
تورم مزمن و نوسانات ارزی	۱۲.۳۲۲	۱۲.۴۵۲	۲۴.۷۷۴	-۰.۱۳
بی‌ثباتی اقتصادی کلی	۱۲.۲۷۶	۱۲.۵۱۷	۲۴.۷۹۳	-۰.۲۴۱
وابستگی ساختار درآمدی شهرداری به ساخت‌وساز	۱۲.۹۶۷	۱۲.۶۳۴	۲۵.۶۰۱	۰.۳۳۳
پیچیدگی مقررات و طولانی بودن فرآیندها	۱۱.۳۸۲	۱۲.۱۶۳	۲۳.۵۴۵	-۰.۷۸۱
فساد اداری و عدم شفافیت	۱۲.۵۲۸	۱۲.۳۴۸	۲۴.۸۷۶	۰.۱۸
تغییرات مداوم قوانین و ناهماهنگی مدیریتی	۱۲.۱۵۹	۱۲.۲۵۶	۲۴.۴۱۵	-۰.۰۹۷
آلودگی هوا و کمبود آب	۱۲.۰۰۶	۱۲.۴۰۱	۲۴.۴۰۷	-۰.۳۹۵
فرونشست زمین و فشار بر منابع طبیعی	۱۱.۹۵۲	۱۲.۱۰۱	۲۴.۰۵۳	-۰.۱۴۹
نادیده گرفتن پایداری محیطی در برنامه‌ریزی	۱۳.۱۴۸	۱۲.۶۳۹	۲۵.۷۸۷	۰.۵۰۹
تحریم‌های بین‌المللی	۱۲.۵۵۹	۱۲.۰۲۷	۲۴.۵۸۶	۰.۵۳۲
تمرکز قدرت متمرکز و رویکرد کوتاه‌مدت سودمحور	۱۲.۰۸۲	۱۲.۰۸۱	۲۴.۱۶۳	۰.۰۰۱
نابرابری‌های اجتماعی و کیفیت زندگی پایین	۱۲.۹۳۹	۱۳.۰۹۷	۲۶.۰۳۶	-۰.۱۵۸

بر اساس نتایج DEMATEL، در سطح مؤلفه‌های اصلی، مؤلفهٔ ساختاری با بالاترین مقدار D (۱۸/۰۰۷) به عنوان اثرگذارترین عامل شناسایی شد که نشان‌دهندهٔ تأثیر قوی آن بر سایر موانع مانند اقتصادی و نهادی است، در حالی که مؤلفهٔ اقتصادی با بیشترین R (۱۷/۸۷۲) اثرپذیرترین است و بیشتر تحت تأثیر عوامل دیگر قرار می‌گیرد؛ همچنین، مؤلفه‌های نهادی و حقوقی و سیاسی و اجتماعی عمدتاً معلول (D-R منفی) هستند، در صورتی که محیطی و بوم‌زیستی با D-R نزدیک به صفر، نقش واسطه‌ای دارد. در سطح زیرمؤلفه‌ها، «نادیده گرفتن پایداری محیطی در برنامه‌ریزی» با D=13.148 اثرگذارترین است و می‌تواند بر عوامل محیطی و اجتماعی تأثیر بگذارد، و «تحریم‌های بین‌المللی» با D-R=0.532 بیشترین تمایل به علت بودن را دارد، در مقابل «نابرابری‌های اجتماعی و کیفیت زندگی پایین» با R=13.097 اثرپذیرترین است و «پیچیدگی مقررات و طولانی بودن فرایندها» با D-R=-0.781 بیشترین ویژگی معلول بودن را نشان می‌دهد، که این الگوها بر لزوم تمرکز بر اصلاح زیرساخت‌ها و پایداری محیطی برای کاهش موانع کلی تأکید می‌کند.

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با واکاوی مقایسه‌ای جذابیت سرمایه‌گذاری در کلان‌شهر تهران با پایتخت‌های پیشرو جهانی؛ مانند لندن، نیویورک و پاریس، بر اساس داده‌های جهانی معتبر، نشان داد تهران با وجود توانایی‌های ذاتی مانند نیروی کار جوان، بازار مصرف پویا و موقعیت ژئوپلیتیکی راهبردی، در جذب سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و بهبود رقابت‌پذیری شهری، از شکاف عمیقی رنج می‌برد. بر این اساس تهران در چارچوب رقابت دوجانبه (انتظارات سرمایه‌گذاران از سودآوری و انتظارات شهرها از اشتغال پایدار و بهبود محیط زیست)، با ناکارآمدی‌های ساختاری روبه‌رو است. موانع اصلی عدم جذب سرمایه در تهران را می‌توان به دسته‌های ساختاری (فرسودگی زیرساخت‌ها، ناکارآمدی خدمات عمومی و کمبود زمین مناسب، و رشد نامتوازن و گسترش بی‌رویه شهری)، اقتصادی (تورم مزمن و نوسانات ارزی، بی‌ثباتی اقتصادی کلی، و وابستگی ساختار درآمدی شهرداری به ساخت‌وساز)، نهادی و حقوقی (پیچیدگی مقررات و طولانی بودن فرایندها، فساد اداری و عدم شفافیت، و تغییرات مداوم قوانین و ناهماهنگی مدیریتی)، محیطی و بوم‌زیستی (آلودگی هوا و کمبود آب، فرونشست زمین و فشار بر منابع طبیعی، و نادیده گرفتن پایداری محیطی در برنامه‌ریزی)، و سیاسی و اجتماعی (تحریم‌های بین‌المللی، تمرکز قدرت متمرکز و رویکرد کوتاه‌مدت سودمحور، و نابرابری‌های اجتماعی و کیفیت زندگی پایین) تقسیم کرد. بر اساس تحلیل DEMATEL، در سطح مؤلفه‌های اصلی، مؤلفهٔ ساختاری با بالاترین مقدار (18.007) D به عنوان اثرگذارترین عامل شناسایی شد که نشان‌دهندهٔ تأثیر قوی آن بر سایر موانع مانند اقتصادی و نهادی است، در حالی که مؤلفهٔ اقتصادی با بیشترین (17.872) R اثرپذیرترین است و بیشتر تحت تأثیر عوامل دیگر قرار می‌گیرد. همچنین، مؤلفه‌های نهادی و حقوقی و سیاسی و اجتماعی عمدتاً معلول هستند، در صورتی که محیطی و بوم‌زیستی با D-R نزدیک به صفر، نقش واسطه‌ای دارد. در سطح زیرمؤلفه‌ها، «نادیده گرفتن پایداری محیطی در برنامه‌ریزی» با D=13.148 اثرگذارترین است و می‌تواند بر عوامل محیطی و اجتماعی تأثیر بگذارد، و «تحریم‌های بین‌المللی» با D-R=0.532 بیشترین تمایل به علت بودن را دارد، در مقابل «نابرابری‌های اجتماعی و کیفیت زندگی پایین» با R=13.097 اثرپذیرترین است و «پیچیدگی مقررات و طولانی بودن فرایندها» با D-R=-0.781 بیشترین ویژگی معلول بودن را نشان می‌دهد. این موانع که ریشه در تمرکز قدرت متمرکز، نگاه کوتاه‌مدت در برنامه‌ریزی شهری (مانند فروش تراکم ساختمانی به عنوان منبع درآمد فوری شهرداری) و اولویت بقای سیاسی بر توسعهٔ جامع دارند، نه‌تنها جریان FDI را محدود کرده‌اند، بلکه به استهلاک زیرساخت‌های اجتماعی و زیست‌محیطی منجر شده و جایگاه تهران را در شبکهٔ جهانی شهرها تضعیف کرده‌اند. این چالش‌ها، توسعهٔ نامتوازن را تشدید کرده و از ظرفیت تولیدی شهر کاسته‌اند. در این‌میان، نگرش شهرداری تهران به سرمایه‌گذاری عمدتاً غیرمولد است؛ جایی که سرمایه‌گذار به عنوان کسی دیده می‌شود که ساخت‌وساز انجام دهد و عوارض بپردازد تا درآمد فوری شهرداری افزایش یابد، بدون توجه به ارزش افزوده یا اشتغال پایدار. این رویکرد که بر اساس ساختار درآمدی وابسته به ساخت‌وساز شکل‌گرفته، بی‌توجه به مسائل بوم‌زیستی مانند فرونشست زمین و کمبود آب عمل می‌کند و حفظ سرمایه‌های موجود (مانند منابع طبیعی و زیرساخت‌ها) را تهدید می‌کند. در مقابل، سرمایه‌گذاری مولد با تمرکز بر فعالیت‌های بهره‌ور، جایگزینی فعالیت‌های کم‌بازده را ترغیب کرده، رونق پایدار ایجاد می‌کند و با اصول آمایش سرزمین (مانند تمرکززدایی و توزیع متعادل) همخوانی دارد. این تفاوت نگرش، نه‌تنها رقابت‌پذیری را کاهش می‌دهد، بلکه واقعیت‌های عینی مانند فشار بر منابع را سانسور می‌کند، حتی اگر داده‌های دقیق همیشه در دسترس نباشد. استدلال منطقی اینجا کافی است: اگر شهرداری تهران بر جذب سرمایه‌گذار به‌عنوان تولیدکننده ارزش افزوده تمرکز کند (P)، رونق شهری افزایش می‌یابد و درآمد از مالیات محلی رشد می‌کند (Q).

با تأکید بر پایداری بوم‌زیستی و برنامه‌ریزی بلندمدت، تهران می‌تواند از توانایی‌های خود برای دستیابی به رشد در جذب سرمایه بهره ببرد، به‌ویژه در بخش‌های دانش‌بنیان، انرژی تجدیدپذیر و گردشگری پایدار. این چشم‌انداز، نیازمند عبور از مرزهای بوم‌زیستی تهران است؛ جایی که ظرفیت محدود منابع طبیعی و فشار بر زیرساخت‌ها، جذب سرمایه و جمعیت بیش از حد را به ناپایداری می‌کشاند. گسترش بی‌رویه شهری نه‌تنها تخریب محیط زیست را به دنبال داشته، بلکه ریسک‌های سرمایه‌گذاری را افزایش داده و کیفیت زندگی را کاهش داده است. بنابراین، هرگونه راهبرد جذب سرمایه باید بر اساس ظرفیت بوم‌زیستی (مانند

تراکم راهبردی و زیرساخت‌های کارآمد منابع) طراحی شود تا از الگوهای تعادلی توسعه جلوگیری از تخریب منابع را تضمین کند. در این راستا، لزوم تغییر نگاه از سودمحور کوتاه‌مدت به رویکرد بلندمدت و پایدار، حیاتی است. تمرکز فعلی بر درآمدهای فوری از فروش تراکم که منافع بازار املاک را بر نیازهای عمومی اولویت می‌دهد، رقابت‌پذیری را تضعیف کرده و به جای خلق ارزش افزوده مولد، رانت‌جویی را تقویت می‌کند. گذار به برنامه‌ریزی آینده‌نگر، با ادغام دانش محلی، مشوق‌های مالیاتی پایدار و سرمایه‌گذاری در نوآوری، می‌تواند تهران را به مقصدی جذاب برای سرمایه‌گذاران مسئول تبدیل کند، جایی که سودآوری با حفظ محیط زیست و عدالت اجتماعی همخوانی دارد. این تغییر پارادایم، نه‌تنها موانع را رفع می‌کند، بلکه تهران را در برابر بی‌ثباتی‌های جهانی مقاوم می‌سازد و حفظ سرمایه‌های موجود را اولویت می‌دهد. برای پژوهش‌های آتی، پیشنهاد می‌شود:

۱) بررسی تجربی تأثیر سیاست‌های مشوق مالیاتی بر جذب سرمایه در بخش‌های سبز تهران، با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی اقتصادی؛

۲) تحلیل تطبیقی مرزهای بوم‌زیستی کلان‌شهرهای درحال‌توسعه (مانند تهران و بمبئی) برای تدوین چارچوب‌های ظرفیت‌یابی پایدار شهر؛

۳) ارزیابی نقش فناوری‌های دیجیتال در بهبود شفافیت فرایندهای سرمایه‌گذاری و مدیریت شهری در ایران. این پیشنهادها، با گسترش ادبیات موجود، به سیاستگذاری‌های کاربردی کمک خواهند کرد.

منابع

1. United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). *World cities report 2024: Cities and climate action* [Internet]. Nairobi: UN-Habitat; 2024 [cited 2025 Sep 18]. Available from: https://unhabitat.org/world-cities-report-2024-cities-and-climate-action
2. United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). *World investment report 2025: International investment in the digital economy* [Internet]. Geneva: UNCTAD; 2025 [cited 2025 Sep 18]. Available from: https://unctad.org/publication/world-investment-report-2025
3. Kearney. *Global cities report 2025* [Internet]. Chicago (IL): A.T. Kearney; 2025 [cited 2025 Sep 18]. Available from: https://www.kearney.com/service/global-business-policy-council/gcr
4. U.S. Bureau of Economic Analysis. *Foreign direct investment in the United States: 2025* [Internet]. Washington (DC): U.S. Department of Commerce; 2025 [cited 2025 Sep 18]. Available from: https://www.bea.gov/data/intl-trade-investment/foreign-direct-investment-united-states
5. EY. *EY UK attractiveness survey 2025* [Internet]. London: EY; 2025 [cited 2025 Sep 18]. Available from: https://www.ey.com/en_uk/foreign-direct-investment-surveys/ey-uk-attractiveness-survey
6. Hosseini SA, Pishgah Hadian H. The impact of foreign investor attraction policies on the development of Iran's economy and international relations. Iranian Political Science Review (Former Sepehr Political Science). 2021;8(29):31-58. Available from: https://doi.org/10.22034/sej.2021.1915661.1276 (in Persian).
7. Shokri M, Barghi MM, Motafaker Azad MA, Salmani Bishak MR. Investigating the impact of economic sanctions and exchange rate uncertainty on FDI in Iran: A fuzzy approach. J Econ Modelling. 2020;11(3):33-59. Available from: https://doi.org/10.29252/jem.2021.219939.1560 (in Persian).
8. Shokouhi MA, Khademi A, Zamanipour M. An analysis of the future challenges of environmental sustainability of Iranian metropolises. Geogr Plann Space Q. 2020;10(37):107-122. Available from: https://doi.org/10.30488/gps.2021.138451.2828 (in Persian).
9. Faizi F, Barakpur N. Assessment of development plans of Tehran metropolis and its region from the perspective of climate change impacts. Soffeh. 2022;32(2):71-88. Available from: https://doi.org/10.52547/sofeh.32.2.71 (in Persian).
10. BandarAbad A. Comparative analysis of the city's impact on the environmental factors of livability in selected regions of Tehran. J Sustain Arch Urban Design. 2020;8(1):151-163. Available from: https://doi.org/10.22061/jsaud.2019.4849.1415 (in Persian).
11. Rahmani M, Aminzadeh Goharrizi B, Rastegar S, Aminzadeh Goharrizi B. Comparative analysis of the proposed development model in Tehran Strategic-Structural Master Plan (2007) using Transit-Oriented Development (TOD) model. Geogr Urban Space Dev. 2021;7(2):187-207. Available from: https://doi.org/10.22067/jgusd.2021.44987.0 (in Persian).
12. Lashgary A, Tavakolinia J, Kozehgarkaleji L, Fanni Z, Moridsadat P. Evaluation of national development plans and outstanding documents in environmental justice with an emphasis on green technology: Case study of Tehran metropolis. Res Earth Sci. 2020;11(2):89-109. Available from: https://doi.org/10.52547/esrj.11.2.89 (in Persian).
13. Rasouli, S., Mehboob Lotfkar, A. Evaluating the Failure of Municipalities in Attracting Private Sector Investors. Public Organizations Management, 2024; 12(4): 187-204. https://doi.org/10.30473/ipom.2024.72450.5054 (in Persian).
14. ghafari E., Daneshfard K., memarzadeh tehran G. Designing a Public-Private Partnership Model in Urban Development Infrastructure Projects: A study on Tehran Municipality. Iranian journal of management sciences, 2020; 15(60): 27-50. (in Persian).
15. urban branding and its role in the sustainable development of Tehran's city management. The 6th National Conference on Applied Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Management and the 5th Specialized Exhibition of Mass Housing and Building Constructors of the Province. (In Persian).
16. Rajaei, S. A. and Khorasani, M. A. (2015). Identification and Analysis of the Barriers to Private Investment in Urban Development Projects (Case Study: District 10 of Tehran Municipality).

Geographical Urban Planning Research (GUPR), 3(2), 191-210. https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2015.55349 (In Persian).
17. Mohammadi, A. Determination of Global Network Connectivity of Tehran's Using GNC Model. Geographical Urban Planning Research (GUPR), 2013; 1(1): 43-58 https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2013.50551 (In Persian).
18. Tiurina A, Orel M, Lisovska L, Yurynets O, Prokopenko N. The essence of the development of social investment projects for the economy. *Economic Affairs*. 2023;68(3):1675–81. https://doi.org/10.46852/0424-2513.3.2023.32
19. Çağlar A, Glick Schiller N. Relational multiscalar analysis: a comparative approach to migrants within city-making processes. *Geographical Review*. 2021;111(2):206–32. https://doi.org/10.1080/00167428.2020.1865817
20. Schteingart M, Sierra A. Comparative studies in urban research. *Estudios Demográficos y Urbanos* [Internet]. 2024 Jan–Apr;39(1):1–26. Available from: http://dx.doi.org/10.24201/edu.v39i1.2209
21. Al-Ali NSM. Into the concept of utopia versus dystopia: a comparative analysis between two cities. *SPACE: International Journal of Comparative Philosophy* [Internet]. 2023 Jul 31 [cited 2025 Oct 14];3(1):10–6. Available from: https://journal.spacestudies.co.uk/index.php/space-ijocp/article/view/19
22. Becker S, Bryman A, Ferguson H, Thomas H. *Understanding research for social policy and practice: themes, methods and approaches* [Internet]. Bristol: Policy Press; 2012 [cited 2025 Oct 14]. Available from: https://books.google.co.uk/books?hl=en&lr=&id=QB-LaGf05z0C
23. Mahmoudi A, Rajabi Z, Shafaghi S. Private sector investment in economic–artistic development (case study: Tabriz city). *Islamic Art Studies*. 2020;16(37):298–316. https://doi.org/10.22034/ias.2020.109647 *(in Persian)*
24. Snieska V, Zykiene I. City attractiveness for investment: Characteristics and underlying factors. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2015;213:48–54. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.401
25. Servillo L, Atkinson R, Russo AP. Territorial attractiveness in EU urban and spatial policy: A critical review and future research agenda. *European Urban and Regional Studies*. 2011;19(4):349–65. https://doi.org/10.1177/0969776411430289
26. Lee KH. The conceptualization of country attractiveness: A review of research. *International Review of Administrative Sciences*. 2016;82(4):807–26. https://doi.org/10.1177/0020852314566002
27. Correia JSR, Ferreira FAF, Meidutė-Kavaliauskienė I, Pereira LF, Zopounidis C, Correia RJC. Factors influencing urban investment attractiveness: An FCM-SD approach. *International Journal of Strategic Property Management*. 2020;24(4):237–50. https://doi.org/10.3846/ijspm.2020.12384
28. World Bank. *B-READY 2025: Business ready index* [Internet]. Washington (DC): World Bank; 2025 [cited 2025 Sep 18]. Available from: https://www.worldbank.org/en/businessready
29. Kamranfar S, Azimi Y, Gheibi M, Fathollahi-Fard AM, Hajiaghaei-Keshteli M. Analyzing green construction development barriers by a hybrid decision-making method based on DEMATEL and the ANP. *Buildings*. 2022;12(10):1641. https://doi.org/10.3390/buildings12101641
30. Maghsoodi Tilaki MJ, Abdullah A, Bahauddin A, Hedayati Marzbali M. An evaluation to identify the barriers to the feasibility of urban development plans: Five decades of experience in urban planning in Iran. *Journal of Urban and Environmental Engineering*. 2014;8(1):38–47. https://doi.org/10.4090/juee.2014.v8n1.38-47
31. Zali N, Ghal'ejough FH, Esmailzadeh Y. Analyzing urban sprawl of Tehran metropolis in Iran (during 1956–2011). *Anuário do Instituto de Geociências*. 2016;39(3):55–62. https://doi.org/10.11137/2016_3_55_62
32. Greater London Authority. *Council tax and rates booklet 2024/25* [Internet]. London: GLA; 2024 [cited 2025 Sep 20]. Available from: https://www.cityoflondon.gov.uk/assets/Business/council-tax-and-rates-booklet-2024-25.pdf
33. NYC Comptroller. *Annual state of the city's economy and finances 2024* [Internet]. New York: Office of the Comptroller; 2024 [cited 2025 Sep 20]. Available from: https://comptroller.nyc.gov/reports/annual-state-of-the-citys-economy-and-finances-2024/

34. Région Île-de-France. *Investor presentation 2024* [Internet]. Paris: Région Île-de-France; 2024 [cited 2025 Sep 20]. Available from: https://www.iledefrance.fr/sites/default/files/2024-01/2024.01_IDF_Investor_presentation_UK.pdf
35. Ahmadi K, Demneh N, Jahandideh M, Mollaei Y. Fiscal sustainability in Tehran municipality: Current situation and suggested reforms. *Urban Economics and Planning*. 2022;3(4):164–83. https://doi.org/10.22034/uep.2022.367278.1295
36. fDi Intelligence. *The fDi report 2025* [Internet]. London: Financial Times Ltd; 2025 [cited 2025 Sep 18]. Available from: https://www.fdiintelligence.com/content/2b95f93d-398e-42bf-bfa3-a466ef99e4c0
37. Alizadeh H, Meshkini A. On the road to urban sustainability: Identifying major barriers to urban sustainability in Iran. *Review of Regional Research*. 2025;45(2):1–28. https://doi.org/10.1007/s10037-025-00238-y
38. Kurt N. The phenomenon of urban rent and the role of the state in the urban development process in Turkey. *Kent Akademisi*. 2020;13(4):785–807. https://doi.org/10.35674/kent.797866
39. Crouzet N, Eberly JC. Rents and intangible capital: A Q+ framework. Cambridge (MA): National Bureau of Economic Research; 2021. (NBER Working Paper No. 28988). Available from: http://www.nber.org/papers/w28988
40. Karampour K. Implications of density bonus tool for urban planning: Relaxing floor area ratio (FAR) regulations in Tehran. *International Planning Studies*. 2020;26(3):219–35. https://doi.org/10.1080/13563475.2020.1802235
41. Festus I, Omoboye IF, Andrew OB. Urban sprawl: Environmental consequence of rapid urban expansion. *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities*. 2020;5(6):110–8. https://doi.org/10.47405/mjssh.v5i6.411
42. Ioannou S, Wójcik D. Finance and growth nexus: An international analysis across cities. *Urban Studies*. 2021;58(1):223–42. https://doi.org/10.1177/0042098019889244
43. Ergenc C, Yuksekkaya O. Institutionalizing authoritarian urbanism and the centralization of urban decision-making. *Territory Polit Gov*. 2022;12(3):410–29. https://doi.org/10.1080/21622671.2021.2020156
44. Tolkki H, Haveri A. The dynamics between state control and metropolitan governance capacity. *Adm Sci*. 2020;10(2):26. https://doi.org/10.3390/admsci10020026
45. Pavlov YV. The future of municipalities in metropolitan areas: Evolution of views on metropolitan governance. *Econ Policy*. 2019;14(1):126–53.
46. Goodman CB. Political fragmentation and economic growth in U.S. metropolitan areas. *J Urban Aff*. 2021;43(9):1355–76. https://doi.org/10.1080/07352166.2020.1742578
47. Pourvaziry R, Dadvar-Khani F, Ananthakrishnan S. Sustainable resources of urban economy. In: *Proceedings of the Urban Economy Forum*; 2020.
48. He C. Information costs, agglomeration economies and the location of foreign direct investment in China. *Reg Stud*. 2002;36(9):1029–36. https://doi.org/10.1080/0034340022000022530
49. Andersson M. The economic microgeography of diversity and specialization. *SSRN Electron J*. 2017. https://doi.org/10.2139/ssrn.3683808
50. Kozhanov NA. Between development, growth and survival: Some current features of Iran's model of socio-economic development. *J Int Anal*. 2023;14(1):72–91. https://doi.org/10.46272/2587-8476-2023-14-1-72-91
51. Ni P, Qiongjie Z, editors. *Urban competitiveness and innovation*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing; 2014. https://doi.org/10.4337/9781781007921
52. Bardauskienė D, Pakalnis M. Foresighted urban planning. *Environ Res Eng Manag*. 2012;59(1):5–12. https://doi.org/10.5755/j01.erem.59.1.679
53. Transparency International. *Corruption perceptions index 2024* [Internet]. Berlin: Transparency International; 2024 [cited 2025 Sep 18]. Available from: https://www.transparency.org/en/cpi/2024
54. Bakonyi J. The political economy of displacement: Rent seeking, dispossessions and precarious mobility in Somali cities. *Glob Policy*. 2021;12(S2):10–22. https://doi.org/10.1111/1758-5899.12849

55. Hidayat S, Tambunan D, Haning Y. Unjust by default: The political economy of Indonesia's local government policy on infrastructure development. *Asian J Comp Polit*. 2024;10(2):152–70. https://doi.org/10.1177/20578911241260442
56. Bergesen JD, Suh S, Baynes TM, Musango JK. Environmental and natural resource implications of sustainable urban infrastructure systems. *Environ Res Lett*. 2017;12(12):125009. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa98ca
57. Ribeiro FL, Meirelles J, Ferreira FF, Rodrigues Neto C. A model of urban scaling laws based on distance-dependent interactions. *R Soc Open Sci*. 2017;4(3):160926. https://doi.org/10.1098/rsos.160926
58. Kulczyk-Dynowska A, Stacherzak A. The impact of a city on its environment: The prism of demography and selected environmental and technical aspects based on the case of major Lower Silesian cities. *Sustainability*. 2022;14(11):6393. https://doi.org/10.3390/su14116393
59. Haddad I. A new tropism of the urban fabric in the face of risk and uncertainty in developing countries. *Eur Mod Stud J*. 2024;8(1):106–18. https://doi.org/10.59573/emsj.8(1).2024.11
60. Pandey B, Brelsford C, Seto KC. Infrastructure inequality is a characteristic of urbanization. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2022;119(15):e2119890119. https://doi.org/10.1073/pnas.2119890119
61. Park H, Philippopoulos A, Vassilatos V. On the optimal size of public sector under rent-seeking competition from state coffers. *SSRN Electron J*. 2003. https://doi.org/10.2139/ssrn.430000
62. International Monetary Fund. *World economic outlook, April 2025: Inflation rate, average consumer prices* [Internet]. Washington (DC): IMF; 2025 [cited 2025 Sep 18]. Available from: https://www.imf.org/en/Publications/WEO
63. Mercer. *Quality of living city ranking 2025* [Internet]. New York (NY): Mercer; 2025 [cited 2025 Sep 18]. Available from: https://www.mercer.com/insights/total-rewards/talent-mobility-insights/quality-of-living-city-ranking/
64. World Bank. *Banking on cities: Investing in resilient and low-carbon urbanization* [Internet]. Washington (DC): World Bank; 2025 [cited 2025 Sep 18]. Available from: https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/publication/banking-on-cities
65. World Competitiveness Center. *IMD world competitiveness ranking 2025* [Internet]. Lausanne: IMD; 2025 [cited 2025 Sep 18]. Available from: https://www.imd.org/centers/wcc/world-competitiveness-center/rankings/world-competitiveness-ranking/

Urban Development Policy Making

Home Page: https://judpm.ir

Online ISSN: 3092-6564

Strategic analysis of the role of municipalities in water resources management

Mona Masoudi Ashtiani[1] | Hamid Kardan Moghaddam[2*]

1. Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: mona.masoudi67@yahoo.com
2. Corresponding Author, Assistant Professor, Water Research Institute, Ministry of Energy, Tehran, Iran. Email: h.kardan@wri.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 28 July 2025
Revised 02 September 2025
Accepted 17 November 2025
Published Online 01 January 2026

Keywords:
Urban governance,
Water resources management,
Sustainable development,
Municipalities,
Climate resilience,
Green infrastructure.

ABSTRACT

This study aims to strategically analyze the position and role of municipalities in urban water resources management and achieving sustainable development. In this study, the framework of laws and regulations related to water resources management, including urban planning laws, green space, pollution control, and efficient consumption regulations, was first examined. Then, the proposed policies and measures were analyzed in four main areas, including urban development, climate-friendly design and architecture, zoning policies, and intersectoral cooperation. In the next step, the capacities of municipalities in the field of water consumption management, advertising and culture building, financial instruments, and participatory mechanisms were described. A comparative assessment of international experiences from countries such as Japan, South Korea, China, Australia, and Brazil showed that the most successful models are a combination of transparent governance, smart technology, green infrastructure, and public participation. The results of the study indicate that the urban water crisis in Iran is caused by weak multi-level governance, deteriorating infrastructure, and a lack of a culture of sustainable consumption. Municipalities can become the main axis of the transition to sustainable urban water resources management by reforming urban development policies, implementing land use regulations based on water indicators, integrating monitoring systems, and redesigning the financial model. The study ultimately proposes a three-stage implementation framework (short-term, medium-term, long-term) for Iranian cities that is designed based on data-driven governance, intergenerational planning, and climate resilience.

Cite this article: Masoudi Ashtiani, M. & Kardan Moghaddam, H. (2026). Strategic analysis of the role of municipalities in water resources management. *Urban Development Policy Making*, 3 (1), 159-172. DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.557111.1072

© Mona Masoudi Ashtiani, Hamid Kardan Moghaddam
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.557111.1072

Introduction

This study aims to strategically analyze the position and role of municipalities in urban water resources management in order to achieve sustainable development in urban areas of Iran. In this research, the legal, regulatory, and institutional framework related to urban water resources management was first systematically reviewed and analyzed, including urban planning laws, green space regulations, pollution control measures, and bylaws related to efficient water consumption.

Materials and Methods

The proposed policies and management measures were examined across four main dimensions,

namely urban development, climate-friendly design and architecture, zoning and land-use policies, and intersectoral and institutional cooperation. In the next step, the capacities and competencies of municipalities in the fields of water consumption and demand management, public awareness, advertising and culture building, financial and economic instruments, and participatory mechanisms involving stakeholders and citizens were comprehensively described.

Discussion and Conclusion

A comparative assessment of international experiences from countries such as Japan, South Korea, China, Australia, and Brazil revealed that the most successful urban water management models are based on an integrated combination of transparent and multi-level governance, the application of smart technologies, the development of green infrastructure, and active public participation. The results of the study indicate that the urban water crisis in Iran is mainly caused by weak multi-level governance structures, organizational fragmentation, deteriorating and inefficient infrastructure, and the lack of a sustainable water consumption culture. In this context, municipalities have the potential to become the main driving force in the transition toward sustainable urban water resources management by reforming urban development policies, enforcing land-use regulations based on water-related indicators, integrating monitoring and management systems, and redesigning financial and economic models. Ultimately, the study proposes a three-stage implementation framework—short-term, medium-term, and long-term—for Iranian cities, which is designed based on data-driven governance, intergenerational planning, and enhanced climate resilience.

پیشرفت شهری
سیاستگذاری
سایت نشریه: https:// judpmi.ir
شاپا الکترونیکی: ۶۵۶۴-۳۰۹۲

تحلیل راهبردی نقش شهرداری‌ها در مدیریت منابع آب در کلان‌شهر تهران

منا مسعودی آشتیانی[۱] | حمید کاردان مقدم[۲*]

۱. دانشجوی دکتری مهندسی عمران گرایش علوم و مهندسی منابع آب، عضو کانون خبرگان برنامه‌ریزی و خدمات شهری شهرداری تهران. رایانامه: monamasoudiashtiani@yahoo.com
۲. نویسندهٔ مسئول، استادیار پژوهشی مؤسسهٔ تحقیقات آب وزارت نیرو. رایانامه: h.kardan@wri.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱

کلیدواژه:
حکمرانی شهری،
مدیریت منابع آب،
توسعهٔ پایدار،
شهرداری‌ها،
تاب‌آوری اقلیمی،
زیرساخت سبز.

چکیده

پژوهش پیش رو با هدف تحلیل راهبردی جایگاه و نقش شهرداری‌ها در مدیریت منابع آب شهری و دستیابی به توسعهٔ پایدار انجام شده است. در این مطالعه، ابتدا چارچوب قوانین و مقررات مرتبط با مدیریت منابع آب، از جمله قوانین شهرسازی، فضای سبز، کنترل آلودگی و آیین‌نامه‌های مصرف بهینه بررسی شد. سپس، سیاست‌ها و اقدامات پیشنهادی در چهار محور اصلی شامل توسعهٔ شهری، طراحی و معماری سازگار با اقلیم، سیاست‌های پهنه‌بندی و همکاری‌های بین بخشی تحلیل شد. در گام بعد، ظرفیت‌های شهرداری‌ها در زمینهٔ مدیریت مصرف آب، تبلیغات و فرهنگ‌سازی، ابزارهای مالی و سازوکارهای مشارکتی تشریح شد. ارزیابی تطبیقی تجربه‌های بین‌المللی از کشورهایی همچون ژاپن، کرهٔ جنوبی، چین، استرالیا و برزیل نشان داد موفق‌ترین الگوها، تلفیقی از حکمرانی شفاف، فناوری هوشمند، زیرساخت سبز و مشارکت عمومی هستند. نتایج تحقیق بیانگر آن است که بحران آب شهری در ایران ناشی از ضعف حکمرانی چندسطحی، فرسودگی زیرساخت‌ها، و فقدان فرهنگ مصرف پایدار است و شهرداری‌ها می‌توانند با اصلاح سیاست‌های توسعهٔ شهری، اعمال مقررات کاربری زمین بر پایهٔ شاخص‌های آبی، یکپارچه‌سازی سامانه‌های نظارتی و بازطراحی الگوی مالی، به محور اصلی گذار به مدیریت پایدار منابع آب شهری تبدیل شوند. پژوهش در نهایت چارچوب اجرایی سه‌مرحله‌ای (کوتاه‌مدت، میان‌مدت، بلندمدت) برای شهرهای ایران پیشنهاد می‌کند که بر مبنای حکمرانی داده‌محور، برنامه‌ریزی بین نسلی و تاب‌آوری اقلیمی طراحی شده است.

استناد: مسعودی آشتیانی، منا و کاردان مقدم، حمید (۱۴۰۵). تحلیل راهبردی نقش شهرداری‌ها در مدیریت منابع آب در کلان‌شهر تهران. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۳ (۱) ۱۵۹-۱۷۲.

DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.557111.1072

© منا مسعودی آشتیانی، حمید کاردان مقدم
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2025.557111.1072

۱. مقدمه

تهران به عنوان بزرگ‌ترین کلان‌شهر ایران با جمعیتی بیش از ۱۳ میلیون نفر، طی دهه‌های اخیر با بحران جدی در تأمین و مدیریت منابع آب مواجه شده است [۱]. کاهش بارندگی‌های سالانه، تغییر الگوی بارش و خشکسالی‌های پیاپی، ذخایر سطحی و زیرزمینی را به‌شدت تحت فشار قرار داده است [۲]. منابع اصلی آب شرب تهران ترکیبی از سدها و آبخوان‌ها هستند، اما کاهش بارندگی موجب کاهش شدید ذخایر سدها و وابستگی بیشتر به منابع زیرزمینی شده است [۳]. برداشت بی‌رویه از آبخوان‌ها، افت سطح آب و کاهش توان طبیعی تجدید آن‌ها را در پی داشته است. علاوه بر این، مصرف آب در ایران تقریباً سه برابر ظرفیت پایدار برآورد شده و تهران به دلیل رشد جمعیت و تمرکز فعالیت‌های شهری، سهم بالایی در این مصرف دارد. مشکلات ساختاری مانند فرسودگی شبکهٔ آبرسانی، هدررفت آب و ضعف مدیریت تقاضا نیز از جمله چالش‌های مهم در بُعد کمی هستند. این عوامل به‌وضوح نشان می‌دهند سیاست‌های موجود، نتوانسته‌اند به صورت کارآمد از منابع آب شهری محافظت کنند. علاوه بر کمبود منابع، کیفیت آب در تهران نیز بحرانی است. از سوی دیگر، افت شدید سطح آب زیرزمینی موجب بروز پدیدهٔ فرونشست در دشت‌های اطراف تهران شده است که پیامدهای اقتصادی و اجتماعی گسترده‌ای دارد، از جمله تهدید زیرساخت‌های شهری و افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری. فضای سبز شهری تهران، که تأثیرات زیادی بر کیفیت محیط زیست و منظر شهری دارد نیز به طور فزاینده‌ای در معرض خطر کمبود منابع آب قرار گرفته است [۴]. در حالی که فضای سبز نقش حیاتی در بهبود کیفیت هوای شهری و ایجاد شرایط مطلوب زیستی ایفا می‌کند، نیاز به مدیریت دقیق منابع آب در این بخش یکی از اولویت‌های سیاستگذاران شهری به شمار می‌آید. به‌ویژه در شرایطی که بحران آب در تهران به مرحلهٔ هشدار رسیده است، نیاز به بهینه‌سازی مصرف آب در فضای سبز شهری بیش از پیش احساس می‌شود. با توجه به شرایط بحرانی تهران، هدف این مقاله ارزیابی جامع سیاست‌های مدیریت شهری در حوزهٔ منابع آب است. تمرکز اصلی بر بررسی میزان موفقیت این سیاست‌ها در ابعاد کمی (تأمین و مصرف)، کیفی (سلامت و آلودگی)، اجتماعی (عدالت و مشارکت مردمی) و محیط زیستی خواهد بود [۵]. ابتدا، مروری بر وضعیت فعلی منابع آب تهران و روندهای اخیر صورت می‌گیرد. سپس، سیاست‌های اجرایی شهرداری و نهادهای مرتبط در حوزهٔ آب بررسی می‌شود. در ادامه، قوت‌ها و ضعف‌های این سیاست‌ها تحلیل خواهد شد و در نهایت پیشنهادهایی برای اصلاح و بهبود ارائه می‌شود. این مقاله همچنین به مقایسهٔ رویکردهای مختلف در استفاده از آب در فضای سبز شهری و ارزیابی تجربهٔ کشورهای مختلف در مدیریت منابع آب در این بخش، از جمله کشورهای پیشرفته و درحال‌توسعه خواهد پرداخت. امید است که این تحقیق بتواند به عنوان مرجعی علمی، مسیر توسعهٔ سیاست‌های پایدار و کارآمد در مدیریت منابع آب شهری تهران را هموار سازد. هدف اصلی مقالهٔ حاضر، بررسی چارچوب مدیریت آب شهری مبتنی بر مفهوم حکمرانی در قیاس با کشورهای مختلف است که بتوان رویکرد مناسبی مبتنی بر مفهوم حکمرانی در سطوح مختلف ارائه داد.

۲. مبانی نظری

الف) مدیریت منابع آب شهری

مدیریت منابع آب به فرایند برنامه‌ریزی، بهره‌برداری و حفاظت از منابع آبی به منظور تأمین نیازهای مختلف اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی گفته می‌شود [۶]. در مقیاس شهری، این مفهوم بیشتر به مدیریت آب‌های شرب، آب‌های مصرفی در صنعت، کشاورزی و فضای سبز شهری مربوط می‌شود. از آنجا که آب یکی از منابع مهم طبیعی و پایه‌ای برای بقای انسان و توسعهٔ پایدار است، مدیریت صحیح آن اهمیت زیادی دارد. در شهرها، افزایش جمعیت، رشد صنعت، تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آب طبیعی، چالش‌های زیادی را برای تأمین و مدیریت آب به وجود آورده است. در بسیاری از مناطق شهری، منابع آب در معرض تهدید قرار دارند که می‌تواند بر کیفیت زندگی و محیط زیست تأثیر بگذارد.

بحران آب در شهرها به دلایل مختلفی از جمله کمبود منابع آبی، افزایش مصرف، آلودگی منابع آب و نبود برنامه‌های مدیریتی کارآمد رخ می‌دهد. این بحران به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک و خشک، مانند خاورمیانه، که بارندگی‌ها کم و منابع آبی محدود هستند، بیشتر مشاهده می‌شود. در این شرایط، مدیریت منابع آب به عنوان یک اولویت استراتژیک در دستور کار سیاستگذاران قرار می‌گیرد [۷].

در کشورهای مختلف، مدیریت منابع آب شهری از روش‌های مختلفی مانند آبیاری هوشمند، استفاده از آب باران، بهینه‌سازی مصرف آب و بازچرخانی آن بهره می‌برد. برای مثال، در برخی شهرهای بزرگ جهان، سیاست‌های کاهش مصرف آب، استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری و ارتقای سیستم‌های توزیع آب به طور گسترده‌ای به کار گرفته می‌شود.

ب) مدیریت فضای سبز شهری

فضای سبز شهری به مجموعه‌ای از فضاهای طبیعی و مصنوعی درون شهرها گفته می‌شود که شامل پارک‌ها، باغ‌ها، خیابان‌های سبز و دیگر فضاهای سبز شهری است [۸]. این فضاها علاوه بر زیباسازی منظر شهری، نقش‌های متعدد اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی دارند. از جملهٔ این نقش‌ها می‌توان به بهبود کیفیت هوای شهری، کاهش اثرات جزایر گرمایی، جذب CO_2، ارتقای سلامت روانی و جسمی شهروندان و بهبود کیفیت زندگی اشاره کرد.

فضای سبز همچنین با جذب و ذخیرهٔ آب‌های سطحی، در مدیریت منابع آب شهری نیز مؤثر است. این فضاها می‌توانند به عنوان یک سیستم طبیعی تصفیهٔ آب عمل کرده و از رواناب‌ها و سیلاب‌ها جلوگیری کنند. به همین‌دلیل، مدیریت بهینهٔ منابع آب در فضای سبز، به‌ویژه در شهرهای بزرگ و خشک مانند تهران، یک ضرورت است [۸].

یکی از چالش‌های مهم مدیریت فضای سبز در شهرهای بزرگ، مصرف زیاد آب برای نگهداری این فضاها است. با توجه به کمبود منابع آب در بسیاری از شهرهای جهان، مصرف آب در بخش فضای سبز به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مسئله‌ای پیچیده و بحرانی است. استفاده از سیستم‌های آبیاری نامناسب، گیاهان غیرمتناسب با شرایط اقلیمی و مصرف زیاد آب به طور سنتی، باعث شده است که این بخش سهم زیادی از مصرف آب شهری را به خود اختصاص دهد. به‌ویژه در تهران، که به دلیل وضعیت خشک و کمبود منابع آبی به‌شدت در معرض بحران آب است، نگهداری فضای سبز به‌ویژه در فصل‌های گرم سال، به راهکارهای بهینه و نوآورانه نیاز دارد.

ج) بهینه‌سازی مصرف آب در فضای سبز شهری

بهینه‌سازی مصرف آب به معنای استفادهٔ کارآمدتر و مؤثرتر از منابع آبی است تا از هدررفت آن جلوگیری شود و در عین حال نیازهای مختلف تأمین آب برآورده شود [۹]. در بخش فضای سبز، این بهینه‌سازی نه‌تنها به کاهش مصرف آب کمک می‌کند، بلکه باعث کاهش هزینه‌ها و ارتقای پایداری محیط زیست شهری می‌شود. با توجه به شرایط بحران آب در بسیاری از شهرها، بهینه‌سازی مصرف آب در فضای سبز به یکی از اولویت‌های سیاست‌گذاری در این حوزه تبدیل شده است. بر این‌اساس، روش‌های بهینه‌سازی مصرف آب در فضای سبز شهری به مؤلفه‌های زیر تقسیم می‌شود:

- استفاده از آبیاری هوشمند: سیستم‌های آبیاری هوشمند مانند آبیاری قطره‌ای، آبیاری خودکار و کنترل میزان آب مصرفی بر اساس نیاز گیاهان، از جمله فناوری‌هایی هستند که به طور گسترده‌ای در مدیریت منابع آب در فضای سبز شهری استفاده می‌شوند. این سیستم‌ها باعث می‌شوند که مصرف آب به حداقل برسد و هدررفت آب به‌شدت کاهش یابد [۹ ـ ۱۱].
- استفاده از گیاهان مقاوم به خشکی: یکی دیگر از راهکارهای بهینه‌سازی مصرف آب، استفاده از گیاهان مقاوم به خشکی است که نیاز کمتری به آب دارند و می‌توانند در شرایط سخت آب‌وهوایی نیز به‌خوبی رشد کنند. این گیاهان می‌توانند به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، راه‌حل مناسبی برای کاهش مصرف آب باشند [۱۲].
- بازچرخانی آب: استفادهٔ مجدد از آب‌های مصرفی در فضای سبز، به‌ویژه در مناطق شهری که با کمبود آب مواجه هستند، می‌تواند راهکاری مؤثر برای کاهش فشار بر منابع آبی باشد. بازچرخانی آب، به‌ویژه در فضاهای سبز شهری، به حفظ منابع آبی کمک می‌کند [۱۳].
- توسعهٔ سیستم‌های مدیریت آب باران: جمع‌آوری و ذخیره‌سازی آب باران برای استفاده در فضای سبز شهری، یکی دیگر از روش‌های مؤثر برای بهینه‌سازی مصرف آب است. این سیستم‌ها می‌توانند در فصل‌های بارندگی، منابع آبی مورد نیاز فضای سبز را تأمین کنند [۱۴].

هرچند روش‌های مختلف بهینه‌سازی مصرف آب در فضای سبز وجود دارد، اما اجرای این سیاست‌ها و فناوری‌ها با چالش‌هایی همراه است. برخی از این چالش‌ها شامل هزینه‌های بالای نصب و نگهداری سیستم‌های نوین آبیاری، عدم آگاهی و آموزش مناسب به مسئولان و مردم، و محدودیت منابع مالی و فنی در کشورهای درحال‌توسعه است.

حکمرانی آب شهری به عنوان یکی از ارکان مهم حکمرانی پایدار شناخته می‌شود. در واقع، مدیریت صحیح و پایدار منابع آب در مناطق شهری یکی از جنبه‌های کلیدی در دستیابی به توسعهٔ پایدار است. حکمرانی آب شهری باید به گونه‌ای باشد که علاوه بر تأمین نیازهای جاری شهروندان، شرایط زیست‌محیطی و اکولوژیکی نیز رعایت شود و استفادهٔ بهینه از منابع آب در بلندمدت ممکن شود. این مسئله مستلزم استفاده از راهکارهای نوین مدیریتی، تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر شواهد علمی و مشارکت فعال مردم در فرایندهای مدیریتی است.

۳. سیاست‌ها و استراتژی‌های مدیریت منابع آب در کشورهای مختلف

سیاست‌ها و استراتژی‌های مدیریت منابع آب در کشورهای مختلف به طور عمده به وسیلهٔ شرایط جغرافیایی، اقتصادی، فرهنگی و میزان دسترسی به منابع آب تعیین می‌شود. با توجه به بحران‌های جهانی آب و تغییرات اقلیمی، کشورهای مختلف رویکردهای متنوعی برای مدیریت منابع آب به‌ویژه در بخش شهری و فضای سبز به کار گرفته‌اند. با توجه به هدف این مطالعه، کشورهای مختلفی مورد بررسی قرار گرفته و ابعاد تأثیرگذاری در مدیریت آب شهری مورد نقد قرار گرفته است.

آلمان به عنوان یکی از کشورهای پیشرفته در مدیریت منابع آب، مجموعه‌ای از سیاست‌ها و فناوری‌ها را برای استفادهٔ بهینه از منابع آب به‌ویژه در بخش‌های شهری به کار گرفته است. این کشور توجه ویژه‌ای به بازچرخانی آب و استفاده از آب باران دارد. از طرفی در بسیاری از شهرهای آلمان، سیستم‌های جمع‌آوری آب باران برای تأمین نیازهای غیرشرب مانند آبیاری فضای سبز شهری، شست‌وشوی معابر و مصارف صنعتی به کار می‌روند. این روش به‌ویژه در شهرهای بزرگ و صنعتی آلمان که با مشکلات کمبود منابع آب مواجه هستند، مؤثر بوده است. همچنین، آلمان در طراحی فضای سبز شهری به‌شدت به استفاده از گیاهان مقاوم به خشکی توجه می‌کند. این کشور برنامه‌هایی برای استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای در پارک‌ها و فضاهای سبز شهری دارد تا مصرف آب را به حداقل برساند. بازیابی آب از فاضلاب‌های صنعتی و خانگی برای استفاده در بخش‌های غیرشرب (مانند فضای سبز شهری) نوعی سیاست رایج است. در برخی مناطق، آب تصفیه‌شدهٔ فاضلاب برای آبیاری فضای سبز استفاده می‌شود که این کار به کاهش مصرف آب شرب و حفظ منابع آب کمک می‌کند [۱۵].

ژاپن به دلیل وضعیت خاص جغرافیایی و تغییرات اقلیمی که با آن روبه‌روست، در زمینهٔ مدیریت منابع آب شهری سیاست‌های خاصی را اتخاذ کرده است. در این کشور استفاده از سیستم‌های پیشرفتهٔ آبیاری هوشمند در فضای سبز شهری خود استفاده می‌کند. این سیستم‌ها به طور خودکار میزان آب مصرفی را بر اساس نیاز گیاهان و شرایط اقلیمی تنظیم می‌کنند. این روش باعث کاهش هدررفت آب و بهبود کارایی در استفاده از منابع آبی می‌شود. در ژاپن، به‌ویژه پس از وقوع بحران‌های طبیعی مانند زمین‌لرزه‌ها و توفان‌ها، سیستم‌های بازیابی و ذخیره‌سازی آب باران برای مقابله با کمبود منابع آبی در مواقع اضطراری طراحی شده است. در برخی شهرها، ساختمان‌ها به سیستم‌های ذخیره‌سازی آب باران مجهز هستند که می‌توانند در زمان‌های بحران، آب مورد نیاز برای مصرف خانگی و آبیاری فضای سبز را تأمین کنند. موضوع آموزش و فرهنگ‌سازی به شهروندان برای صرفه‌جویی با برگزاری برنامه‌های کمپین‌های تبلیغاتی در مدارس و محیط‌های کاری اشاره کرد که هدف آن، افزایش آگاهی در مورد بحران آب و نحوهٔ استفادهٔ بهینه از منابع آبی است [۱۶].

امارات متحدهٔ عربی یکی از کشورهای پیشرفته در زمینهٔ استفاده از فناوری‌های نوین برای مقابله با بحران آب در مناطق بیابانی است. یکی از استراتژی‌های اصلی در امارات برای تأمین منابع آب، استفادهٔ گسترده از فناوری شیرین‌سازی آب است. در این کشور، درصد زیادی از آب مصرفی از دریا تأمین می‌شود. در حال حاضر، امارات یکی از تولیدکنندگان بزرگ آب شیرین در جهان است که توانسته با استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته، منابع آب دریا را برای استفاده‌های شرب و صنعتی به آب شیرین تبدیل کند. در امارات، استفاده از آب‌های غیرمرسوم مانند پساب تصفیه‌شده و آب باران به طور فزاینده‌ای برای آبیاری فضای سبز شهری استفاده می‌شود. این روش نه تنها باعث کاهش فشار بر منابع آب شیرین می‌شود، بلکه هزینه‌های نگهداری فضای

سبز را نیز کاهش می‌دهد. همچنین، به طور گسترده‌ای از فناوری‌های اینترنت اشیا (IOT) و سنسورها برای نظارت و کنترل مصرف آب در فضاهای سبز و ساختمان‌ها استفاده می‌کند. این فناوری‌ها قادرند به طور خودکار میزان آب مصرفی را بر اساس شرایط محیطی تنظیم کنند و از هدررفت آب جلوگیری کنند [۱۷].

هلند به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص خود، که عمدتاً زیر سطح دریا قرار دارد، در زمینهٔ مدیریت منابع آب شهری و بازچرخانی آب پیشرو بوده است. در هلند، استفاده از سیستم‌های بازیافت و بازچرخانی آب در بسیاری از مناطق به‌ویژه در فضای سبز شهری بسیار رایج است. این سیستم‌ها آب‌های مصرفی خانگی و صنعتی را تصفیه کرده و به طور مجدد برای آبیاری فضاهای سبز یا مصارف صنعتی استفاده می‌کنند. هلند از پیشرفته‌ترین کشورهای جهان در استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای است. این کشور به‌ویژه در بخش کشاورزی و فضای سبز شهری از این سیستم‌ها استفاده می‌کند تا مصرف آب به حداقل برسد. همچنین، هلند برای مدیریت منابع آب و حفاظت از آن، یک شورای ملی مدیریت منابع آب دارد که وظیفهٔ هماهنگی و نظارت بر سیاست‌های مختلف آبی در کشور را به عهده دارد. این شورا به طور منظم به ارزیابی وضعیت منابع آب و توسعهٔ سیاست‌های پایدار می‌پردازد [۱۸].

استرالیا از پیشروترین کشورها در زمینهٔ استفاده از آبیاری قطره‌ای و سایر سیستم‌های هوشمند آبیاری است. این کشور سیستم‌های آبیاری مبتنی بر حسگرها و تکنولوژی‌های هوشمند را در مناطق کشاورزی و شهری برای بهینه‌سازی مصرف آب به کار می‌برد. این روش‌ها به کاهش مصرف آب در بخش‌های کشاورزی و فضای سبز کمک کرده است. از طرفی به دلیل وقوع دوره‌های خشکسالی طولانی، سیاست‌هایی برای ذخیره‌سازی آب و مدیریت بحران هنگام کمبود منابع آبی دارد. یکی از این سیاست‌ها ایجاد «استخرهای ذخیره‌سازی آب» و تقویت زیرساخت‌ها برای ذخیرهٔ آب باران است. این سیاست‌ها به‌ویژه در شهرهای بزرگ مانند سیدنی و ملبورن به منظور تأمین آب برای مصارف غیرشرب (مانند آبیاری فضای سبز) اعمال می‌شود. در استرالیا، کمپین‌های ملی برای آموزش مردم در زمینهٔ کاهش مصرف آب در منزل و فضای سبز شهری برگزار می‌شود. این برنامه‌ها شامل ترویج استفاده از گیاهان مقاوم به خشکی و نصب سیستم‌های آبیاری هوشمند در باغ‌ها و فضاهای سبز است [۱۹].

آفریقای جنوبی در زمینهٔ تصفیه و بازچرخانی آب‌های فاضلابی برای استفاده در مصارف غیرشرب (مانند آبیاری فضای سبز) از فناوری‌های پیشرفته استفاده می‌کند. در شهرهایی مانند کیپ‌تاون، سیستم‌های تصفیه و استفادهٔ مجدد از پساب به طور گسترده برای کاهش مصرف آب‌های شیرین به کار می‌روند. در شرایط بحران آب مانند خشکسالی‌ها، آفریقای جنوبی سیاست‌های سختگیرانه‌ای برای کاهش مصرف آب در بخش‌های مختلف، از جمله فضای سبز شهری، اعمال می‌کند. در کیپ‌تاون، که به‌ویژه در سال‌های اخیر با بحران آب روبه‌رو بوده، استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای در فضای سبز شهری به طور گسترده‌تری معرفی شده است. همچنین، تدابیری برای کاهش آبیاری‌های غیرضروری و ترویج استفاده از گیاهان مقاوم به خشکی اتخاذ شده است. آفریقای جنوبی برای مقابله با بحران آب، کمپین‌های آگاهی‌رسانی در سطح ملی برگزار می‌کند. این کمپین‌ها به‌ویژه بر مصرف بهینه آب در منزل و بخش‌های عمومی از جمله فضای سبز تأکید دارند [۲۰].

اسپانیا در مدیریت منابع آب در بخش فضای سبز، از سیستم‌های پیشرفته بازیافت آب و استفاده از پساب برای آبیاری فضای سبز شهری استفاده می‌کند. در شهرهایی مانند بارسلونا، آب‌های تصفیه‌شده برای آبیاری پارک‌ها و فضاهای سبز شهری استفاده می‌شود. این روش به کاهش وابستگی به منابع آب شیرین کمک می‌کند و موجب صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود. آب‌پاش‌های هوشمند و سیستم‌های آبیاری قطره‌ای به طور گسترده در اسپانیا برای بهینه‌سازی مصرف آب در فضای سبز شهری استفاده می‌شود. این سیستم‌ها به طور خودکار میزان آب مورد نیاز گیاهان را بر اساس شرایط اقلیمی و نیاز آن‌ها تنظیم می‌کنند و از هدررفت آب جلوگیری می‌کنند. در اسپانیا، قوانین سختگیرانه‌ای برای کاهش مصرف آب و حفاظت از منابع آبی وجود دارد. در مناطقی که با بحران کم‌آبی مواجه هستند، قوانین ویژه‌ای برای محدود کردن مصرف آب در بخش‌های غیرضروری مانند آبیاری باغ‌ها و فضای سبز شهری وضع شده است [۲۱].

در ایالات متحده، به‌ویژه در ایالاتی مانند کالیفرنیا که با بحران آب روبه‌رو هستند، استفاده از سیستم‌های جمع‌آوری آب باران برای تأمین آب مصرفی فضای سبز شهری یک استراتژی معمول است. این سیستم‌ها به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک

برای کاهش فشار بر منابع آب شیرین استفاده می‌شوند. در بسیاری از ایالت‌های آمریکا، سیستم‌های آبیاری هوشمند برای بهینه‌سازی مصرف آب در فضای سبز شهری معرفی شده‌اند. این سیستم‌ها با استفاده از حسگرها و فناوری‌های پیشرفته، میزان آب مصرفی را بر اساس شرایط محیطی تنظیم می‌کنند. این روش‌ها در مناطقی مانند لس‌آنجلس و سایر شهرهای کالیفرنیا به‌ویژه در زمان خشکسالی به طور گسترده استفاده می‌شود. در شهرهای بزرگی مانند نیویورک و لس‌آنجلس، برنامه‌های مدیریت بحران آب برای کاهش مصرف آب در مواقع بحران طراحی شده است. این برنامه‌ها شامل کاهش آبیاری‌های غیرضروری، تشویق به استفاده از گیاهان مقاوم به خشکی و محدودیت‌های زمانی برای استفاده از آب در فضای سبز شهری هستند [۲۲].

۴. ارزیابی رویکردهای بهینه‌سازی مصرف آب در فضای سبز شهری

به منظور ارزیابی رویکردهای بهینه‌سازی مصرف آب در بخش شهری با توجه به نگاه و ارزش‌گذاری به آب در کشورهای مختلف، ارزیابی مبتنی بر ۵ بخش تأثیرگذار بر تعریف و پیاده‌سازی سیاست‌های آبی مورد نقد قرار گرفته است. نقش اقلیم، فناوری، گیاهان مقاوم به خشکی و بومی، بازچرخانی آب و سیاست‌های اجتماعی به عنوان ابزارهای مقایسه‌ای و تحلیلی انتخاب شده است.

الف) نقش اقلیم در تعریف سیاست‌های مدیریت آب شهری: نتایج تحلیل نشان داد شرایط اقلیمی نقش تعیین‌کننده‌ای در انتخاب سیاست‌ها و فناوری‌های بهینه‌سازی مصرف آب دارد. کشورهای خشک و بیابانی مانند امارات و استرالیا، بر استفاده از منابع غیرمرسوم نظیر آب‌های شور و پساب تصفیه‌شده و همچنین، فناوری‌های شیرین‌سازی آب تمرکز دارند. در مقابل، کشورهای معتدل و مرطوب مانند آلمان و هلند بیشتر بر بازیافت و بازچرخانی آب، بهینه‌سازی شبکه‌های آبیاری و جمع‌آوری آب باران تأکید دارند. این تفاوت نشان می‌دهد راهکارهای موفق در یک منطقه الزاماً قابل تعمیم به مناطق دیگر نیستند، بلکه باید متناسب با اقلیم، نوع پوشش گیاهی و منابع آبی محلی طراحی شوند.

ب) مقایسهٔ فناوری‌ها و سیستم‌های آبیاری: مقایسه‌ها نشان داد بیشترین صرفه‌جویی در مصرف آب در کشورهایی حاصل شده که از سیستم‌های هوشمند آبیاری بهره می‌برند. در آلمان، اسپانیا و ژاپن، استفاده از حسگرهای رطوبت خاک و سیستم‌های خودکار آبیاری سبب کاهش مصرف آب تا حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد شده است. در مقابل، در ایران و آفریقای جنوبی که هنوز بخش قابل توجهی از فضاهای سبز با روش‌های سنتی (غرق‌آبی یا سطحی) آبیاری می‌شوند، راندمان مصرف آب کمتر از ۵۰ درصد است. بر این‌اساس، استفاده از فناوری‌های هوشمند آبیاری مؤثرترین عامل در کاهش مصرف آب فضای سبز هستند، اما نیاز به زیرساخت و سرمایه‌گذاری اولیه بالا دارند.

ج) استفاده از گیاهان بومی و مقاوم به خشکی: بررسی تطبیقی کشورها نشان داد استفاده از گیاهان بومی و زراعت مقاوم به خشکی از کم‌هزینه‌ترین و مؤثرترین روش‌ها در کاهش مصرف آب فضای سبز شهری است. استرالیا و کالیفرنیا پیشگام در توسعهٔ چمن‌های بومی و زراعت مقاوم بوده‌اند و توانسته‌اند تا ۵۰ درصد کاهش مصرف آب را در بخش فضای سبز شهری تجربه کنند. در مقابل، کشورهایی مانند ایران و کشورهای خاورمیانه هنوز در بسیاری از مناطق از گونه‌های غیربومی (مانند چمن‌های پرمصرف) استفاده می‌کنند که نیاز آبی بالایی دارند.

د) بازچرخانی و استفادهٔ مجدد از آب: تحلیل‌ها نشان داد استفاده از پساب تصفیه‌شده و جمع‌آوری آب باران از سیاست‌های موفق در کشورهای توسعه‌یافته است. در هلند، بیش از ۶۰ درصد از آب مورد استفاده در فضای سبز شهری از منابع بازچرخانی‌شده تأمین می‌شود. اسپانیا و آلمان نیز با اجرای سیستم‌های تصفیهٔ محلی و استفاده از پساب در پارک‌ها، کاهش چشمگیر مصرف آب شرب را گزارش کرده‌اند. در ایران و سایر کشورهای درحال‌توسعه، سهم استفاده از آب بازچرخانی‌شده هنوز کمتر از ۱۰ درصد است، که نشان‌دهندهٔ فاصلهٔ زیاد از استانداردهای جهانی است.

ه) سیاست‌های اجتماعی و مشارکت مردمی: تجربهٔ کشورهای موفق نشان می‌دهد توسعهٔ سیاست‌های فنی بدون حمایت اجتماعی کارایی پایداری ندارد. در ژاپن و آلمان، برنامه‌های آموزشی و کمپین‌های ملی برای آگاهی‌رسانی شهروندان در خصوص صرفه‌جویی در مصرف آب اجرا می‌شود و به تغییر الگوهای رفتاری مردم منجر شده است. در کشورهای درحال‌توسعه مانند ایران و آفریقای جنوبی، ضعف در آگاهی عمومی و نبود انگیزهٔ اقتصادی (نظیر تعرفه‌های پلکانی آب) مانع از موفقیت طرح‌های بهینه‌سازی شده است.

در جدول ۱ تحلیلی به صورت مقایسه‌ای از ۵ کشور و ایران در بحث مدیریت آب در فضای سبز شهری ارائه شده است.

جدول ۱. مقایسهٔ نتایج تحلیلی کاهش مصرف آب در بخش فضای سبز

ردیف	کشور	نوع سیاست	فناوری کلیدی	نتایج
۱	آلمان	بازچرخانی و جمع‌آوری آب باران	آبیاری هوشمند، فاضلاب تصفیه‌شده	کاهش ۳۵٪ مصرف آب شهری
۲	ژاپن	فناوری‌های هوشمند و ذخیره‌سازی آب	حسگرهای خاک، مخازن اضطراری	کاهش ۳۰٪ مصرف و افزایش بهره‌وری
۳	امارات	منابع غیرمرسوم (آب شیرین‌کن و پساب)	تصفیهٔ پیشرفته، آبیاری دقیق	تأمین ۵۰٪ آب فضای سبز از پساب
۴	استرالیا	مدیریت خشکسالی و گونه‌های بومی	چمن بومی، بازیافت آب باران	صرفه‌جویی ۴۰٪ در مصرف آب
۵	اسپانیا	بازچرخانی و محدودیت مصرف	تصفیهٔ محلی، آبیاری قطره‌ای	صرفه‌جویی ۲۵–۳۵٪
۶	ایران	طرح‌های محدود آبیاری قطره‌ای	پساب تصفیه‌نشده، گونه‌های پرمصرف	راندمان پایین (زیر ۵۰٪)

۵. تحلیل و ارزیابی سیاست‌های مدیریت منابع آب در بخش فضای سبز شهری

به منظور ارزیابی سیاست‌های پیاده‌سازی مدیریت آب در فضای شهری با استفاده از ۵ شاخص مورد ارزیابی قرار گرفته است. شاخص کارایی، پایداری، پذیرش اجتماعی، اثربخشی اقتصادی، محیط زیست به عنوان ۵ شاخص ارزیابی بوده که در ۲ بخش قوت‌ها و ضعف‌ها برای هر کشور در زیر ارائه شده است.

الف) آلمان

قوت‌ها: وجود سیاست‌های جامع در بازچرخانی آب و استفاده از آب باران، زیرساخت‌های مناسب و همکاری نهادهای محلی و ملی و اعمال مالیات و تعرفه‌های پلکانی برای تشویق صرفه‌جویی.

ضعف‌ها: هزینهٔ بالای نگهداری سیستم‌های تصفیه و شبکه‌های آبیاری پیشرفته.

در کشور آلمان مصرف آب فضای سبز را تا حدود ۳۵ درصد کاهش دهد و تعادل پایداری میان کیفیت منظر شهری و منابع آبی برقرار کند.

ب) هلند

قوت‌ها: تلفیق سیاست‌های مدیریت آب با طراحی شهری (Urban Water Sensitive Design) و مشارکت بالای مردم در پروژه‌های محلی جمع‌آوری آب باران.

ضعف‌ها: وابستگی زیاد به فناوری‌های پرهزینه و نیازمند نگهداری تخصصی.

در کشور هلند از پایدارترین مدل‌های مدیریت آب شهری در اروپا با نرخ بازچرخانی بیش از ۶۰ درصد ایجاد شده است.

ج) ژاپن

قوت‌ها: آبیاری کاملاً هوشمند با حسگرهای محیطی و سیستم‌های ذخیره‌سازی اضطراری آب برای بحران‌ها.

ضعف‌ها: هزینهٔ بالای پیاده‌سازی در مقیاس شهری.

در این کشور الگویی برای کشورهایی با خطرات اقلیمی بالا؛ بهبود ۳۰ درصد در راندمان مصرف آب فضای سبز به وجود آمده است.

د) امارات متحدهٔ عربی

قوت‌ها: استفاده از آب‌های غیرمرسوم (پساب و آب شیرین‌کن) و سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و کنترل‌شده.

ضعف‌ها: وابستگی شدید به انرژی برای تولید آب شیرین و هزینه‌های سنگین نگهداری.

در کشور خشک امارات متحدهٔ عربی با وجود اقلیم بیابانی، موفق به حفظ فضای سبز شهری با استفاده از ۵۰ درصد پساب تصفیه‌شده شده است.

ه) استرالیا

قوت‌ها: سیاست‌های قوی مقابله با خشکسالی و استفاده از گونه‌های بومی و کم‌مصرف.

ضعف‌ها: در برخی مناطق، محدودیت منابع مالی برای اجرای سیستم‌های هوشمند.

در کشور استرالیا کاهش میانگین ۴۰ درصد مصرف آب در فضاهای سبز شهری با حفظ کیفیت اکولوژیک ایجاد شده است.

و) آفریقای جنوبی

قوت‌ها: آموزش همگانی و سیاست‌های سختگیرانه در زمان خشکسالی و آبیاری قطره‌ای در فضاهای عمومی.

ضعف‌ها: ضعف زیرساختی و کمبود منابع مالی برای نگهداری سیستم‌ها.

در کشور آفریقای جنوبی علی‌رغم محدودیت منابع، توانسته مصرف آب شهری را حدود ۲۰ درصد کاهش دهد.

در ایران به عنوان منطقهٔ هدف قوت‌ها آغاز استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای در برخی پارک‌ها و اجرای محدود طرح بازچرخانی پساب در شهرهایی مانند تهران و اصفهان تعریف می‌شود و در مقابل نبود سیاست واحد ملی در مدیریت آب شهری، ضعف در هماهنگی بین شهرداری، وزارت نیرو و سازمان محیط زیست و پایین بودن سطح آگاهی عمومی و مشارکت مردمی به عنوان ضعف‌ها مطرح است. یکی از چالش‌های مهم سیاست‌ها پراکنده و جزیره‌ای هستند؛ هنوز اثربخشی پایدار در کاهش مصرف آب فضای سبز مشاهده نشده است.

۶. رویکردهای نوین و پیشنهادها برای بهینه‌سازی مصرف آب در فضای سبز شهری

با توجه به تغییرات اقلیمی و بحران‌های متعدد آب در جهان، بهینه‌سازی مصرف آب در فضای سبز شهری نه تنها ضروری است، بلکه به عنوان یک اولویت استراتژیک برای حفظ منابع طبیعی و بهبود کیفیت زندگی شهری تلقی می‌شود. فضای سبز شهری علاوه بر زیباسازی محیط، نقش‌های متعدد اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی دارد، از جمله بهبود کیفیت هوا، کاهش دما، جذب CO_2 و ایجاد فضایی برای رفاه عمومی. از سوی دیگر، نگهداری این فضاها در شرایط بحران آب نیازمند استفادهٔ بهینه و مؤثر از منابع آبی است. در ذیل به رویکردهای نوین در بهینه‌سازی مصرف آب اشاره می‌شود:

آبیاری هوشمند و استفاده از فناوری‌های پیشرفته

آبیاری هوشمند از مهم‌ترین و مؤثرترین روش‌های بهینه‌سازی مصرف آب در فضای سبز شهری است. این سیستم‌ها به‌ویژه در مناطقی که با کمبود منابع آب مواجه هستند، می‌توانند مصرف آب را به طور چشمگیری کاهش دهند. سیستم‌های آبیاری هوشمند به وسیلهٔ حسگرهای رطوبت خاک و پیش‌بینی وضعیت هوا، میزان دقیق آب مورد نیاز گیاهان را تعیین می‌کنند.

مزایا: کاهش مصرف آب تا ۳۰–۴۰ درصد، استفادهٔ بهینه از منابع آبی موجود، و کاهش هدررفت آب.

مثال: در شهرهای آلمان و ژاپن، استفاده از آبیاری هوشمند و سیستم‌های خودکار برای فضاهای سبز شهری به طور موفقی در حال اجرا است که نتایج آن کاهش چشمگیر مصرف آب در فضای سبز را نشان داده است.

استفاده از سیستم‌های بازیافت آب (پساب تصفیه‌شده)

یکی از روش‌های مؤثر برای بهینه‌سازی مصرف آب، استفاده از پساب تصفیه‌شده در آبیاری فضای سبز شهری است. این کار علاوه بر کاهش وابستگی به منابع آب شیرین، هزینه‌های مربوط به مصرف آب را کاهش می‌دهد. سیستم‌های بازیافت آب در بسیاری از کشورها مانند هلند و اسپانیا به طور گسترده‌ای برای تأمین نیازهای غیرشرب استفاده می‌شود.

مزایا: کاهش مصرف آب شیرین، جلوگیری از آلودگی منابع آب، و کاهش فشار به منابع آبی طبیعی.

مثال: در شهر بارسلونا، حدود ۳۰ درصد از آب مورد استفاده در فضای سبز از پساب تصفیه‌شده تأمین می‌شود.

استفاده از سیستم‌های جمع‌آوری آب باران

در مناطقی که با بحران آب مواجه هستند، استفاده از سیستم‌های جمع‌آوری آب باران می‌تواند به کاهش مصرف آب شهری کمک کند. این سیستم‌ها می‌توانند آب باران را جمع‌آوری کنند و برای آبیاری فضای سبز شهری یا استفاده در مصارف غیرشرب دیگر مورد استفاده قرار دهند.

مزایا: کاهش وابستگی به منابع آب شرب، کاهش هدررفت آب هنگام بارندگی، و بهبود کارایی استفاده از منابع طبیعی.

مثال: در ژاپن، بسیاری از ساختمان‌ها و فضاهای سبز شهری از سیستم‌های ذخیره‌سازی آب باران برای تأمین نیازهای آبی خود استفاده می‌کنند.

استفاده از گیاهان مقاوم به خشکی و بومی

کاشت گیاهان مقاوم به خشکی یکی از روش‌های ساده و مؤثر برای کاهش مصرف آب در فضای سبز شهری است. این گیاهان که برای شرایط کم‌آب مناسب هستند، نیاز به آبیاری کمتری دارند و می‌توانند در شرایط سخت محیطی به‌خوبی رشد کنند. انتخاب گیاهان بومی که به طور طبیعی به شرایط محلی سازگار هستند نیز می‌تواند در کاهش مصرف آب تأثیرگذار باشد.

مزایا: کاهش نیاز به آبیاری، کاهش هزینه‌های نگهداری، و افزایش سازگاری با محیط زیست.

مثال: در استرالیا، کالیفرنیا و مناطق بیابانی ایران، استفاده از گیاهان بومی و مقاوم به خشکی در فضای سبز شهری به یک روند معمول تبدیل شده است.

استفاده از تکنولوژی‌های اینترنت اشیا (IoT) و داده‌های بزرگ

با پیشرفت تکنولوژی، اینترنت اشیا (IoT) و داده‌های بزرگ (Big Data) می‌توانند در مدیریت منابع آب شهری نقش مؤثری ایفا کنند. از این فناوری‌ها برای نظارت و مدیریت دقیق مصرف آب در فضاهای سبز شهری استفاده می‌شود. حسگرها و دستگاه‌های هوشمند می‌توانند مداوم وضعیت رطوبت خاک و میزان آب مصرفی را اندازه‌گیری کنند و به سیستم‌های آبیاری ارسال کنند تا بر اساس داده‌های لحظه‌ای، آبیاری بهینه‌تری انجام شود.

مزایا: بهبود مدیریت منابع آب، کاهش هدررفت آب، و ارتقای کارایی سیستم‌های آبیاری.

مثال: در لس‌آنجلس، سیستم‌های IoT برای نظارت بر رطوبت خاک در فضاهای سبز شهری به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود.

پیشنهادها برای بهینه‌سازی مصرف آب در فضای سبز شهری

با توجه به چالش‌های موجود و فناوری‌های نوین موجود، پیشنهادهای زیر می‌توانند به بهینه‌سازی مصرف آب در فضای سبز شهری کمک کنند:

توسعهٔ زیرساخت‌های آبیاری هوشمند و سیستم‌های کنترل خودکار

پیشنهاد: دولت‌ها و شهرداری‌ها باید برای نصب سیستم‌های آبیاری هوشمند در فضاهای سبز شهری سرمایه‌گذاری کنند. این سیستم‌ها باید به طور اتوماتیک میزان آبیاری را بر اساس شرایط محیطی تنظیم کنند.

مزیت: این اقدام می‌تواند مصرف آب را به طور چشمگیری کاهش دهد و از هدررفت آن جلوگیری کند.

تشویق به استفاده از پساب تصفیه‌شده و بازچرخانی آب

پیشنهاد: توسعه و گسترش استفاده از پساب تصفیه‌شده برای آبیاری فضای سبز، به‌ویژه در مناطق شهری بزرگ.

مزیت: این اقدام به کاهش وابستگی به منابع آب شیرین کمک کرده و فشار را بر منابع آبی کاهش می‌دهد.

اصلاح سیاست‌های مدیریت منابع آب و گسترش آگاهی عمومی

پیشنهاد: اجرای کمپین‌های آموزشی و آگاهی‌رسانی برای شهروندان در زمینهٔ استفادهٔ بهینه از منابع آب، به‌ویژه در فضاهای سبز شهری.

مزیت: مشارکت مردم در کاهش مصرف آب می‌تواند تأثیر بسزایی در پایداری این سیاست‌ها داشته باشد.

طراحی فضای سبز پایدار و استفاده از گونه‌های مقاوم به خشکی

پیشنهاد: برنامه‌ریزی و طراحی فضای سبز پایدار با استفاده از گیاهان مقاوم به خشکی و سازگار با اقلیم منطقه.
مزیت: این کار می‌تواند نیاز به آبیاری را کاهش دهد و در عین حال تنوع زیستی در فضاهای سبز را حفظ کند.

استفاده از فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا (IoT)

پیشنهاد: استفاده از فناوری‌های اینترنت اشیا (IoT) برای نظارت و مدیریت بهینهٔ مصرف آب در فضاهای سبز شهری.
مزیت: این فناوری‌ها قادرند به طور لحظه‌ای میزان آب مصرفی را اندازه‌گیری کرده و از هدررفت آن جلوگیری کنند.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله به تحلیل و ارزیابی سیاست‌های مدیریت منابع آب در فضای سبز شهری پرداخته شد و راهکارهای بهینه‌سازی مصرف آب در این بخش با تأکید بر رویکردهای نوین معرفی شد. بررسی سیاست‌ها و تجارب کشورهای مختلف نشان می‌دهد با توجه به بحران‌های روزافزون آب و تغییرات اقلیمی، بهینه‌سازی مصرف آب در فضای سبز شهری به یک ضرورت استراتژیک برای حفظ منابع آبی و ارتقای کیفیت زندگی شهروندان تبدیل شده است.

از نتایج تحلیل‌ها مشخص شد که کشورهای پیشرفته مانند آلمان و ژاپن با استفاده از فناوری‌های نوین مانند آبیاری هوشمند، پساب تصفیه‌شده، و جمع‌آوری آب باران توانسته‌اند در کاهش مصرف آب در فضاهای سبز شهری به موفقیت‌های چشمگیری دست یابند. این کشورها همچنین به آموزش عمومی و مشارکت شهروندان در مصرف بهینهٔ آب توجه خاصی دارند که موجب بهبود پایداری سیاست‌ها در درازمدت شده است.

در کشورهای خشک و بیابانی نظیر امارات متحدهٔ عربی و استرالیا، استفاده از منابع غیرمرسوم مانند آب‌شیرین‌کن و آب‌های پساب تصفیه‌شده به عنوان راهکاری اصلی در مقابله با بحران آب شناخته شده است. این کشورها از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و کنترل‌شده برای بهینه‌سازی مصرف آب در فضای سبز بهره می‌برند، اما مشکلاتی مانند وابستگی به انرژی و هزینه‌های نگهداری بالا هنوز از چالش‌های مهم این رویکردها هستند.

در مقایسه با کشورهای پیشرفته، کشورهای درحال‌توسعه مانند ایران و آفریقای جنوبی به دلیل مشکلات زیرساختی، ضعف در هماهنگی بین‌سازمانی و کمبود آگاهی عمومی، هنوز در مرحلهٔ ابتدایی اجرای سیاست‌های بهینه‌سازی مصرف آب قرار دارند. با این‌حال، تلاش‌هایی در جهت استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و کاشت گیاهان مقاوم به خشکی صورت گرفته است که می‌تواند در صورت ادامه و تقویت، به کاهش مصرف آب در فضای سبز شهری کمک کند.

پیشنهادهای عملی برای بهینه‌سازی مصرف آب در فضای سبز شهری شامل:

- سرمایه‌گذاری در فناوری‌های هوشمند برای آبیاری و نظارت بر مصرف آب؛
- گسترش استفاده از پساب تصفیه‌شده و آب باران برای آبیاری فضای سبز؛
- کاشت گیاهان بومی و مقاوم به خشکی به جای گونه‌های پرمصرف آب؛
- آموزش و فرهنگ‌سازی عمومی برای افزایش آگاهی مردم در زمینهٔ مصرف بهینهٔ آب؛
- ایجاد سیاست‌های هماهنگ و یکپارچه بین نهادهای مختلف شهری برای اجرای مؤثر این سیاست‌ها.

در نهایت، تحلیل‌ها و پیشنهادهای ارائه‌شده در این مقاله نشان می‌دهد برای مقابله با بحران منابع آب و بهبود وضعیت مدیریت مصرف آب در فضای سبز شهری، به رویکردی جامع و چندبعدی نیاز است که شامل همکاری بین‌المللی، نوآوری در فناوری، و مشارکت فعال شهروندان باشد. تنها در این‌صورت است که می‌توان به پایداری منابع آبی و بهبود کیفیت زندگی شهری در درازمدت دست یافت.

منابع

1. Ministry of Energy. National Report on the Status of Water Resources and Consumption in the Tehran Metropolitan Area. Tehran: Office of Planning and Management of Metropolitan Areas. 2023.
2. Ministry of Energy. Comprehensive Plan for the Management of Tehran Water Resources, Deputy for Studies and Planning of Water Resources. 2022.
3. Research Center of the Islamic Consultative Assembly. Study of the Challenges of Water Supply in the Tehran Metropolitan Area and Strategies for Dealing with Water Shortage. Office of Energy and Environment. 2021.
4. Moghaddam HK, Abtahizadeh E, Abolfathi S. Sustainable water allocation under climate change: Deep learning approaches to predict drinking water shortages. Journal of Environmental Management. 2025 Jun 1;385:125600.
5. Shuster W D, Roy A H, Webb R, Kupfer M. Sustainable management of urban landscapes under water stress: A review of global experiences. Current Opinion in Environmental Sustainability.2021, 50: 44–53.
6. UN-Habitat. Urban Water Challenges in Tehran: Resilience, Governance, and Sustainability. Nairobi: United Nations Human Settlements Program. *2022.*
7. Department of Water and Sanitation (DWS). National Water and Sanitation Master Plan: Chapter 4 – Water Conservation and Demand Management. Pretoria: Government of South Africa. 2019.
8. Sharma R, Gupta R, Singh P. Urban green spaces and sustainable water management: A review of challenges and opportunities. Urban Forestry & Urban Greening. 2016. 19: 87–95.
9. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Water-Smart Landscapes: Designing for Efficiency and Rainwater Reuse in U.S. Cities. 2017.
10. Keesstra S D, van Beek R, Schotting R. Smart irrigation and water reuse practices in the Netherlands: Integrating technology *and policy for sustainable cities. Science of the Total Environment*. 2021. 775: 145–168.
11. Pataki D E, Gillespie T W, Pincetl S. Urban green infrastructure and the water–energy nexus: Balancing ecosystem services and resource constraints. Frontiers in Environmental Science. 2021. 9: 652-773.
12. Ajuntament de Barcelona (City Council of Barcelona). Sustainable Urban Drainage and Reuse Strategy (SUDS) for Green Infrastructure. Barcelona City Council, Environmental Area. 2021.
13. Takahashi M, Tanaka H. Application of IoT-based irrigation control systems for urban green spaces in Japan. Sustainable Cities and Society. 2021. 74: 103158.
14. Liu J, Zhao D, Gerbens-Leenes W. Improving water use efficiency in urban systems: A global review. Sustainable Cities and Society. 2017. 32: 390–400.
15. Serra-Llobet A, Jähnig S C, Geist J, Kondolf G M, Damm C, Scholz M, Lund J, Opperman J J, Yarnell S M, Pawley A, Shader E. Restoring rivers and floodplains for habitat and flood risk reduction: experiences in multi-benefit floodplain management from California and Germany. Frontiers in Environmental Science. 2022. 9:778568.
16. Liang S, Kinouchi T. Water level forecasting in a controlled shallow lake by data-driven modelling: a case study of Lake Kasumigaura, Japan. In AGU Fall Meeting Abstracts. 2022.
17. Kizhisseri M I, Mohamed M M, El-Shorbagy W, Chowdhury R, McDonald A. Development of a dynamic water budget model for Abu Dhabi Emirate, UAE. Plos one. 2020. 16(1): 245140.
18. Grison C, Koop S, Eisenreich S, Hofman J, Chang IS, Wu J, Savic D, Van Leeuwen K. Integrated water resources management in cities in the world: global challenges. Water Resources Management. 2023 May;37(6):2787-803.
19. Moggridge BJ, Thompson RM. Cultural value of water and western water management: an Australian Indigenous perspective. Australasian journal of water resources. 2021 Jan 2;25(1):4-14.
20. Nkosi M, Mathivha FI, Odiyo JO. Impact of land management on water resources, a South African context. Sustainability. 2021 Jan 13;13(2):701.
21. Algaba MH, Huyghe W, Van Leeuwen K, Koop S, Eisenreich S. Assessment and actions to support integrated water resources management of Seville (Spain). Environment, Development and Sustainability. 2024;26(3):7347-75.

22. Escobedo Garcia N, Ulibarri N. Planning for effective water management: an evaluation of water management plans in California. Journal of Environmental Planning and Management. 2023 Nov 10;66(13):2739-59.

Urban Development Policy Making

Home Page: https://judpm.ir

Online ISSN: 3092-6564

Analyzing the Implementation Barriers to Attracting Investment In Urban Management Projects (Case Study Of Tehran Municipality)

Navid Khasehbaf[1] | Ali Ansari[2] | Amir Golabzaei[3]*

1. PhD Student of Industrial Management Department, Islamic Azad University, North of Tehran Branch. Email: navidkhsehbaf@gmail.com
2. Master of Economic Management, Investment and Public Participation Organization Of Tehran Municipality. Email: Ansari.ali32@gmail.com
3. Corresponding Author, PhD in Industrial Engineering, Affiliated Faculty, Azad University, North of Tehran Branch. Email: amirgolabzaei@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 23 September 2025
Revised 23 October 2025
Accepted 16 December 2025
Published Online 01 January 2026

Keywords:
Urban management,
Investment attraction,
Tehran Municipality,
Public-Private Partnership,
Implementation barriers.

ABSTRACT

Attracting investment in urban management projects is a fundamental pillar of sustainable development and improving the quality of life in megacities. Focusing on the experience of Tehran Municipality and applying the Public–Private Partnership (PPP) approach, this study identifies and analyzes the key implementation barriers to investment attraction. Data were collected through the review of official documents, bylaws, internal reports, and previous studies, and were categorized using thematic analysis into four main dimensions. The findings indicate that the most critical barriers include the absence of a comprehensive legal framework for PPP, institutional fragmentation and the lack of a central coordinating body, limited use of innovative financing instruments and overreliance on traditional methods, as well as weak public trust and negative attitudes toward private sector participation. A comparison with the World Bank's PPP Reference Guide shows that the majority of challenges stem from institutional and legal gaps relative to international standards. Accordingly, policy recommendations include legal and institutional reforms, the establishment of an independent PPP authority, the development of innovative financial instruments such as Islamic finance, and the enhancement of transparency and public trust to strengthen the system of investment attraction. By combining local experiences from Tehran Municipality with international theoretical frameworks, this article proposes practical and policy-oriented pathways for improving the investment process in urban management in Iran.

Cite this article: Khasehbaf, N.; Ansari, A. & Golabzaei, A. (2026). Analyzing the Implementation Barriers to Attracting Investment In Urban Management Projects (Case Study Of Tehran Municipality). *Urban Development Policy Making*, 3 (1), 173-186. DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2026.549006.1065

© Navid Khasehbaf, Ali Ansari, Amir Golabzaei
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2026.549006.1065

Materials and Methods

This study employs a qualitative, applied, and analytical approach to identify the executive barriers to attracting investment in Tehran Municipality's urban management projects. Through a multi-source methodology that includes documentary review of municipal regulations, thematic analysis of academic theses, and benchmarking against the World Bank's PPP Handbook, key deficiencies were extracted across legal, institutional, financial, and cultural dimensions. The analysis reveals critical gaps compared to global standards, including the absence of a dedicated PPP legal framework, a lack of a central coordinating institution, limited transparency, and inadequate risk assessment mechanisms.

The findings, validated via triangulation of internal, national, and international documents, were synthesized to provide policy-relevant insights for improving Tehran's investment landscape.

Results

Based on the analysis across four key dimensions, this research identifies major barriers to Public-Private Partnership (PPP) investment in Tehran. The primary obstacles include the absence of a comprehensive legal framework for PPPs, institutional fragmentation due to a lack of a central coordinating authority and weak inter-departmental coordination, heavy reliance on traditional and limited financial instruments that fail to ensure private returns, and socio-cultural resistance stemming from mistrust of privatization. The findings indicate that legal-institutional weaknesses, combined with cultural resistance, pose significantly greater challenges to investment attraction than financial barriers alone.

Discussion, Conclusion, and Recommendations

This analysis, benchmarking Tehran Municipality against international frameworks, identifies that investment barriers in urban projects are primarily caused by legal, institutional, and structural weaknesses. The most significant obstacles are the absence of a dedicated PPP law, creating investor uncertainty, and a fragmented institutional structure lacking a central authority. Financially, reliance on traditional methods over innovative instruments limits attractiveness, while socio-cultural resistance further deters investment. The study concludes that multi-dimensional reforms—enacting a clear PPP law, establishing an independent PPP authority, diversifying financial tools, and building public trust—are essential. Prioritization reveals that socio-political and institutional reforms are the most critical first steps to align with global standards and restore investor confidence for sustainable urban development.

پیشرفت شهری
سیاستگذاری
سایت نشریه: https:// judpmi.ir
شاپا الکترونیکی: ۶۵۶۴-۳۰۹۲

واکاوی موانع اجرایی جذب سرمایه‌گذاری در پروژه‌های مدیریت شهری (مطالعهٔ موردی: شهرداری تهران)

نوید خاصه‌باف[۱] | علی انصاری[۲] | امیر گلاب‌زائی[۳*]

۱. دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران. رایانامه: navidkhsehbaf@gmail.com
۲. کارشناسی ارشد کارآفرینی، دانشکدهٔ کارآفرینی دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: Ansari.ali32@gmail.com
۳. نویسندهٔ مسئول، دانش‌آموختهٔ دکتری مهندسی صنایع، هیئت علمی وابسته دانشگاه آزاد واحد تهران شمال، تهران، ایران. رایانامه: amirgolabzaei@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۱

کلیدواژه:
مدیریت شهری،
جذب سرمایه‌گذاری،
شهرداری تهران،
مشارکت عمومی ـ خصوصی.

چکیده

جذب سرمایه‌گذاری در پروژه‌های مدیریت شهری یکی از ارکان اساسی توسعهٔ پایدار و ارتقای کیفیت زندگی در کلان‌شهرهاست. این پژوهش با تمرکز بر تجربهٔ شهرداری تهران و بهره‌گیری از رویکرد مشارکت عمومی ـ خصوصی (PPP[1])، به شناسایی و تحلیل موانع اجرایی جذب سرمایه‌گذار پرداخته است. داده‌های پژوهش از طریق گردآوری اسناد رسمی، آیین‌نامه‌ها، گزارش‌های داخلی و مطالعات پیشین به دست آمده و با استفاده از روش تحلیل مضمون در قالب چهار محور اصلی دسته‌بندی شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد مهم‌ترین موانع شامل ضعف چارچوب‌های حقوقی و نبود قانون جامع برای PPP؛ ناهماهنگی نهادی و فقدان نهاد مرکزی هدایت‌کننده؛ محدودیت ابزارهای نوین تأمین مالی و اتکای بیش از حد به روش‌های سنتی؛ و همچنین ضعف اعتماد اجتماعی و نگرش منفی نسبت به مشارکت بخش خصوصی است. مقایسهٔ این یافته‌ها با چارچوب راهنمای بانک جهانی نشان داد بخش عمدهٔ چالش‌ها ناشی از شکاف نهادی و قانونی با استانداردهای بین‌المللی است. بر این‌اساس، اصلاحات حقوقی و نهادی، تأسیس نهاد مستقل مشارکت، توسعهٔ ابزارهای مالی نوین از جمله تأمین مالی اسلامی و ارتقای شفافیت و اعتماد عمومی به عنوان راهکارهای کلیدی برای تقویت نظام جذب سرمایه‌گذاری پیشنهاد می‌شود. این مقاله با ترکیب تجربهٔ بومی شهرداری تهران و چارچوب‌های نظری بین‌المللی، می‌کوشد مسیرهایی عملی و سیاستی برای بهبود فرایند جذب سرمایه‌گذاری در مدیریت شهری ایران ارائه کند.

استناد: خاصه‌باف، نوید؛ انصاری، علی و گلاب‌زائی، امیر (۱۴۰۵). واکاوی موانع اجرایی جذب سرمایه‌گذاری در پروژه‌های مدیریت شهری (مطالعهٔ موردی: شهرداری تهران). *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۳ (۱) ۱۷۳-۱۸۶.

DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2026.549006.1065

© نوید خاصه‌باف، علی انصاری، امیر گلاب‌زائی
DOI: http//doi.org/10.22034/judpm.2026.549006.1065

1. Public-Private Partnership

۱. مقدمه

در دههٔ اخیر، رشد سریع جمعیت شهری، افزایش تقاضا برای خدمات عمومی، و محدودیت منابع مالی دولت‌ها، شهرداری‌ها را با چالش‌های متعددی در تأمین منابع مورد نیاز برای اجرای پروژه‌های عمرانی، خدماتی و زیربنایی مواجه کرده است. در چنین شرایطی، جذب سرمایه‌گذاری از بخش خصوصی به‌ویژه در قالب الگوهای مشارکت عمومی ـ خصوصی، به عنوان یکی از راهکارهای کلیدی برای ارتقای بهره‌وری، تسریع توسعه و مدیریت بهینه منابع شناخته شده است [۱ ـ ۳].

در ایران نیز شهرداری‌ها به‌ویژه شهرداری تهران، با هدف رفع خلأهای مالی و ارتقای ظرفیت‌های اجرایی، تلاش‌هایی برای اجرای پروژه‌های مشارکتی داشته‌اند [۴].

با این‌حال، تجربیات اجرایی شهرداری تهران بیانگر آن است که موانع حقوقی، نهادی، فرهنگی و مالی متعدد، فرایند جذب سرمایه‌گذار را با مشکلات اساسی مواجه کرده‌اند. عدم شفافیت فرایندها، نبود نظام ارزیابی ریسک، ناهماهنگی بین بخشی، ضعف در مستندسازی تجربیات و کمبود دانش تخصصی از جمله چالش‌هایی هستند که باعث شده‌اند بسیاری از پروژه‌های مشارکتی یا به مرحلهٔ اجرا نرسند یا در میانهٔ راه متوقف شوند [۵ و ۶].

از سوی دیگر، نهادهای بین‌المللی از جمله بانک جهانی، در اسناد مرجع خود نظیر راهنمای مرجع مشارکت عمومی خصوصی، چارچوب‌هایی برای موفقیت پروژه‌های مشارکتی ارائه داده‌اند که می‌تواند به عنوان الگوی تطبیقی برای تحلیل وضعیت موجود و ارائهٔ راهکارهای بومی‌سازی‌شده مورد استفاده قرار گیرد [۷ ـ ۹].

از این‌رو، در ادامهٔ این پژوهش با تمرکز بر تجربه‌نگاری شهرداری تهران، تلاش می‌شود موانع اجرایی جذب سرمایه‌گذاری شناسایی، تحلیل و در چارچوب نظری معتبر بین‌المللی بازخوانی شوند.

۲. مرور ادبیات

۲–۱. ادبیات نظری و مفهومی مشارکت عمومی ـ خصوصی در مدیریت شهری

در ادبیات سیاستگذاری شهری، مشارکت عمومی ـ خصوصی[1] فقط به عنوان یک ابزار تأمین مالی تلقی نمی‌شود، بلکه به‌مثابه یک سازوکار نهادی حکمرانی برای طراحی، اجرا و بهره‌برداری از پروژه‌های عمومی شناخته می‌شود. در این چارچوب، دولت یا شهرداری به عنوان سیاستگذار و ناظر عمل می‌کند و بخش خصوصی با پذیرش بخشی از ریسک، مسئولیت تأمین مالی، اجرا و گاه بهره‌برداری از پروژه را به عهده می‌گیرد (Yescombe, 2011).

ادبیات نظری نشان می‌دهد موفقیت یا شکست پروژه‌های مشارکت عمومی ـ خصوصی در مدیریت شهری تابع مجموعه‌ای از متغیرهای کلیدی است که عمدتاً در چهار دستهٔ حقوقی، نهادی، مالی و اجتماعی ـ فرهنگی قابل طبقه‌بندی هستند. هر یک از این متغیرها از طریق مکانیزم‌های مشخصی بر تصمیم سرمایه‌گذاران خصوصی و میزان جذابیت پروژه‌های شهری اثر می‌گذارند.

از منظر حقوقی، وجود چارچوب قانونی شفاف، ثبات مقررات، شفافیت قراردادها و ضمانت‌های اجرایی معتبر، از طریق کاهش عدم قطعیت حقوقی و افزایش امنیت سرمایه‌گذاری، نقش تعیین‌کننده‌ای در جذب سرمایه‌گذاران خصوصی ایفا می‌کند. نبود قوانین اختصاصی مشارکت عمومی ـ خصوصی یا تفسیرهای متناقض از قوانین موجود، موجب افزایش ریسک ادراک‌شده و کاهش تمایل بخش خصوصی به ورود در پروژه‌های شهری می‌شود (World Bank, 2017).

در بعد نهادی، هماهنگی سازمانی، وجود نهاد متمرکز راهبری مشارکت‌ها، و شفافیت در تقسیم وظایف میان دستگاه‌های اجرایی، از طریق کاهش اصطکاک تصمیم‌گیری، تسریع فرایندها و افزایش قابلیت پیش‌بینی پروژه‌ها، بر موفقیت مشارکت‌ها اثر می‌گذارند. ادبیات حکمرانی شهری نشان می‌دهد ساختارهای نهادی پراکنده و نبود نهاد هماهنگ‌کنندهٔ مرکزی، از عوامل اصلی ناکارآمدی پروژه‌های مشارکتی در شهرهای بزرگ هستند.

از منظر مالی، جذابیت اقتصادی پروژه، تنوع ابزارهای تأمین مالی، نظام توزیع ریسک و تضمین بازگشت سرمایه، متغیرهای کلیدی به شمار می‌آیند. این متغیرها از طریق ایجاد تعادل میان ریسک و بازده مورد انتظار سرمایه‌گذار، بر تصمیم مشارکت

1. Public–Private Partnership

بخش خصوصی اثر می‌گذارند. اتکای صرف به روش‌های سنتی تأمین مالی و فقدان ابزارهای نوین، موجب کاهش رقابت‌پذیری پروژه‌های شهری در جذب سرمایه می‌شود.

در نهایت، بعد اجتماعی ـ فرهنگی شامل اعتماد عمومی، نگرش مدیران و شهروندان نسبت به بخش خصوصی و پذیرش اجتماعی مشارکت‌هاست. این عوامل از طریق تأثیر بر مشروعیت اجتماعی پروژه‌ها و کاهش مقاومت‌های سیاسی و اجتماعی، نقش مکمل، اما مهمی در موفقیت مشارکت‌های عمومی ـ خصوصی ایفا می‌کنند.

چارچوب نظری این مطالعه، بر تلفیق سه رویکرد نظری معتبر در حوزهٔ مشارکت عمومی ـ خصوصی و سیاستگذاری شهری مبتنی است. نخست، چارچوب نهادی مشارکت عمومی ـ خصوصی که بر نقش ساختارهای حقوقی، سازمانی و تقسیم وظایف میان بخش عمومی و خصوصی تأکید دارد. دوم، چارچوب سیاستگذاری و حکمرانی مشارکت‌های عمومی ـ خصوصی که در اسناد مرجع بانک جهانی مطرح شده و بر مؤلفه‌هایی نظیر ثبات قانونی، نهاد راهبری متمرکز، شفافیت اطلاعات و ارزیابی ریسک تمرکز دارد. سوم، رویکرد تحلیل نهادی ـ سیاستی در مدیریت شهری که موانع اجرایی را در تعامل میان ساختارهای نهادی، مالی و اجتماعی بررسی می‌کند. این چارچوب تلفیقی، مبنای نظری تحلیل موانع جذب سرمایه‌گذاری در پروژه‌های مدیریت شهری شهرداری تهران را تشکیل می‌دهد.

۲-۲. پیشینهٔ پژوهش‌های تجربی مرتبط با موانع جذب سرمایه‌گذاری

بانک جهانی در کتاب *راهنمای مرجع مشارکت عمومی و خصوصی* تأکید می‌کند که تحقق موفق پروژه‌های مشارکتی نیازمند وجود یک چارچوب حقوقی پایدار، نهاد اجرایی توانمند، شفافیت اطلاعات، ارزیابی دقیق ریسک، و اطمینان از بازگشت سرمایه برای بخش خصوصی است [۸]. در پژوهشی به نقش مهم نهادهای تسهیل‌گر مشارکت و چارچوب‌های مقرراتی اشاره دارد که زمینه‌ساز اعتماد بخش خصوصی به پروژه‌های دولتی هستند [۹] و در پژوهش دیگر در خصوص اجرای موفقیت‌آمیز مشارکت‌های دولتی ـ خصوصی برای توسعهٔ زیرساخت‌ها انجام شد [۱۱ و ۱۲]. به عنوان مثال، در پژوهش اخیر به عوامل حیاتی موفقیت برای مشارکت‌های عمومی ـ خصوصی در پروژه‌های بازآفرینی شهری پرداخته شد و عوامل موفقیت حساسِ مشارکت عمومی ـ خصوصی در پروژه‌های احیای شهری با بررسی محیط خارجی و داخلی پروژه‌ها شناسایی شد [۱۳].

ابراهیم و جاناتان (۲۰۲۴) در یک مطالعهٔ مروری جامع، موانع و چالش‌های اجرای مشارکت عمومی ـ خصوصی را در پروژه‌های زیرساختی و شهری مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج پژوهش یادشده نشان می‌دهد موانع نهادی و حقوقی، از جمله نبود چارچوب‌های قانونی شفاف، ضعف هماهنگی میان نهادهای دولتی و پیچیدگی فرایندهای تصمیم‌گیری، نقش محوری در کاهش جذابیت این پروژه‌ها برای سرمایه‌گذاران خصوصی دارند. این موانع از طریق افزایش عدم قطعیت نهادی و حقوقی، ریسک ادراک‌شدهٔ سرمایه‌گذاران را افزایش می‌دهد و موجب کاهش تمایل بخش خصوصی به مشارکت می‌شود. همچنین، نشان داده شده که بدون اصلاحات نهادی هدفمند، حتی وجود منابع مالی بالقوه نیز نمی‌تواند به موفقیت مشارکت‌های عمومی ـ خصوصی منجر شود [۲۳].

جیانگ و همکاران (۲۰۲۵) در مطالعه‌ای جدید، عوامل مؤثر بر تمایل دولت‌های محلی به استفاده از مشارکت عمومی ـ خصوصی را بررسی کرده‌اند. نتایج پژوهش یادشده نشان می‌دهد ظرفیت نهادی، تجربهٔ پیشین در اجرای پروژه‌های مشارکتی و وجود ساختارهای سازمانی شفاف، تأثیر مستقیمی بر پذیرش مشارکت عمومی ـ خصوصی در سطح مدیریت شهری دارند. همچنین، نشان داده شد که نبود نهادهای تخصصی و ضعف هماهنگی درون‌سازمانی، از طریق افزایش هزینه‌های مبادله و کاهش قابلیت پیش‌بینی تصمیمات، مانع اصلی استفادهٔ مؤثر از مشارکت‌های عمومی ـ خصوصی محسوب می‌شود. این یافته‌ها اهمیت نقش ساختار نهادی و حکمرانی محلی را در موفقیت یا شکست پروژه‌های شهری مبتنی برمشارکت عمومی ـ خصوصی برجسته می‌کند [۲۴].

در ادبیات داخلی نیز پژوهش‌های مختلفی به بررسی علل ناکامی یا موفقیت پروژه‌های مشارکتی در شهرداری‌ها پرداخته‌اند [۱۴ و ۱۵]. در پژوهشی، شناسایی موانع اصلی پایداری شهری در ایران مشخص شد و موانع عمده در مسیر پایداری شهری در ایران در راستای نظام برنامه‌ریزی، نهادی، توسعه‌ای و دانش/آگاهی مورد بررسی قرار گرفت [۱۶]. بررسی موانع مشارکت و سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در شهرداری خرم‌آباد، از دیگر آسیب‌شناسی‌ها در سایر شهرداری‌های ایران است [۱۷].

همچنین، مطالعات آسیب‌شناسی انجام‌شده در شهرداری تهران نشان می‌دهد نبود نظام‌نامه‌های اجرایی مشخص، ضعف در نگهداشت سوابق پروژه‌ها و عدم آشنایی با استانداردهای مشارکت از مهم‌ترین موانع در جذب سرمایه‌گذاران بخش خصوصی بوده‌اند [۱۸].

مرور تجارب بین‌المللی نیز نشان می‌دهد کشورهایی مانند ترکیه، هند و مالزی با اصلاح نهادهای حاکمیتی، ایجاد چارچوب‌های قانونی اختصاصی مشارکت عمومی ـ خصوصی و طراحی بسته‌های تشویقی، توانسته‌اند روند جذب سرمایه در پروژه‌های شهری را تسهیل کنند. برای نمونه، دولت هند با تأسیس واحد مشارکت عمومی خصوصی[1] توانسته با هماهنگی بین سازمان‌های دولتی، زمینهٔ جذب سرمایه‌گذاری‌های کلان را در پروژه‌های شهری فراهم سازد [۱۹].

در میان مطالعات تجربی داخلی، مطالعهٔ تجربه‌نگاری انجام‌شده توسط مرکز مطالعات شهرداری تهران با عنوان «درس‌آموخته‌ها در حوزهٔ سرمایه‌گذاری و مشارکت‌های مردمی» (۱۴۰۳) از جامع‌ترین منابع تحلیلی در این حوزه محسوب می‌شود. این مطالعه با رویکرد آسیب‌شناسی فرایندهای اجرایی، به بررسی پروژه‌های سرمایه‌گذاری شهری اجراشده یا متوقف‌شده در شهرداری تهران پرداخته و موانع عملیاتی جذب سرمایه‌گذار را از منظر نهادی، حقوقی، مالی و مدیریتی تحلیل کرده است. روش این پژوهش مبتنی بر تحلیل اسنادی، بررسی پرونده‌های پروژه‌های مشارکتی و استخراج درس‌آموخته‌ها از تجربیات اجرایی شهرداری تهران بوده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد عواملی نظیر نبود نهاد هماهنگ‌کنندهٔ مرکزی، ضعف مستندسازی تجربیات، ابهام در قراردادها و نبود چارچوب‌های شفاف تصمیم‌گیری، نقش تعیین‌کننده‌ای در ناکامی یا توقف پروژه‌های مشارکتی داشته‌اند.

اهمیت این تجربه‌نگاری در آن است که یافته‌های آن، مبتنی بر داده‌های واقعی و فرایندهای اجرایی شهرداری تهران بوده و تصویری عملی از چالش‌های نهادی و مدیریتی مشارکت عمومی ـ خصوصی در مدیریت شهری ایران ارائه می‌دهد. به همین‌دلیل، این مطالعه به عنوان منبع تجربی مکمل و زمینه‌ای، در کنار مطالعات علمی منتشرشده، برای اعتبارسنجی و غنای تحلیل کیفی پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفته است.

در جمع‌بندی این مرور ادبیات، می‌توان گفت که موفقیت در جذب سرمایه‌گذاری برای پروژه‌های مدیریت شهری نه‌تنها نیازمند سیاستگذاری کلان اقتصادی، بلکه وابسته به وجود زیرساخت‌های حقوقی، نهادی، و فرهنگی مناسب است. این مفاهیم چارچوب نظری این مقاله را تشکیل می‌دهند که مطالعات پیشین آن، به صورت جامع در قالب جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. مقایسهٔ موانع مشارکت عمومی ـ خصوصی در شهرداری‌ها بر اساس مطالعات منتخب

ردیف	منبع	محدودهٔ مطالعه	موانع کلیدی شناسایی‌شده	پیشنهادها
۱	احمد پورمند و همکاران [۱۵]	شهرداری‌های ایران	ضعف ساختار قانونی، عدم انسجام نهادی، نبود نظام ارزیابی	تدوین قانون خاص PPP، آموزش تخصصی کارکنان
۲	رسولی و محبوب لطف‌کار [۱۸]	شهرداری تهران	پیچیدگی فرایندها، نبود شفافیت اطلاعات، ضعف مستندسازی	مستندسازی تجربیات، طراحی بسته‌های تشویقی
۳	public private partnership world bank Handbook [۷ و ۸]	بین‌المللی	نبود چارچوب مقرراتی پایدار، نبود تضمین بازگشت سرمایه	ایجاد نهاد مستقل PPP، تنظیم چارچوب حقوقی شفاف
۴	[۱۹]	پروژه‌های شهری هند	ناهماهنگی نهادی، پیچیدگی ارزیابی ریسک	تأسیس نهاد مرکزی PPP Cell، ابزارهای مالی انگیزشی
۵	Yescombe [۱۰]	اروپا و آسیا	توزیع ناعادلانهٔ ریسک، ضعف در تخصیص نقش‌ها	تنظیم قراردادهای شفاف، تعریف دقیق مسئولیت‌ها

این جدول مروری تطبیقی از مطالعات داخلی و بین‌المللی دربارهٔ چالش‌های اجرایی مدل مشارکت عمومی ـ خصوصی در پروژه‌های مدیریت شهری ارائه می‌دهد. مقایسه نشان می‌دهد بسیاری از چالش‌های شهرداری تهران با تجربیات جهانی همپوشانی دارد، اما در برخی موارد ضعف نهادی و حقوقی شدت بیشتری دارد. همچنین در پژوهش دیگری به موانع حقوقی، سیاسی، اقتصادی و عملیاتی جذب سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در پروژه‌های زیرساخت جاده‌های عمومی در کشورهای درحال‌توسعه پرداخته شده است [۲۰].

1. Infrastructure PPP Cell

۳. روش کار (مواد و روش‌ها)

۳–۱. نوع پژوهش و رویکرد روش‌شناختی

این پژوهش از نوع کیفی، کاربردی و تحلیلی است و با هدف شناسایی و واکاوی موانع اجرایی جذب سرمایه‌گذاری در پروژه‌های مدیریت شهری، با تمرکز بر شهرداری تهران، انجام شده است. رویکرد پژوهش مبتنی بر تحلیل محتوای کیفی و استفاده از روش تحلیل مضمون[1] است که به طور گسترده در مطالعات سیاستگذاری و مدیریت شهری به کار گرفته شده است.

۳–۲. چارچوب انتخاب و غربالگری منابع

به منظور تضمین دقت و اعتبار علمی یافته‌ها، فرایند انتخاب و بررسی منابع بر اساس چارچوب‌های استاندارد مطالعات کیفی انجام شد. منابع مورد استفاده در این پژوهش در سه دستهٔ اصلی طبقه‌بندی شدند:

(۱) مقالات علمی منتشرشده در مجلات معتبر؛

(۲) اسناد و مقررات رسمی مرتبط با مشارکت عمومی ـ خصوصی در مدیریت شهری؛

(۳) راهنماها و گزارش‌های بین‌المللی معتبر.

مقالات علمی از پایگاه‌های اسکوپوس[2] شناسایی شدند. معیار ورود منابع شامل داوری علمی، ارتباط مستقیم با مشارکت عمومی ـ خصوصی در پروژه‌های شهری، و انتشار در سال‌های اخیر بود. منابع فاقد ارتباط مفهومی یا اعتبار علمی حذف شدند.

اسناد رسمی شامل قوانین، آیین‌نامه‌ها و گزارش‌های اجرایی شهرداری تهران و نهادهای مرتبط انتخاب شدند. اعتبار این منابع بر اساس مرجع صادرکنندهٔ رسمی و قابلیت استناد حقوقی ارزیابی و همچنین راهنما و گزارش‌های بین‌المللی منتشرشده توسط نهادهایی نظیر بانک جهانی به عنوان چارچوب تطبیقی و معیار راستی‌آزمایی نهادی مورد استفاده قرار گرفتند.

۳–۳. فرایند تحلیل مضمون و استخراج کدها

فرایند تحلیل مضمون مطابق مراحل استاندارد شامل آشنایی با داده‌ها، کدگذاری اولیه، جست‌وجوی مضامین، بازبینی مضامین، تعریف و نام‌گذاری مضامین و تدوین گزارش نهایی انجام شد. در این مرحله، مفاهیم اولیه استخراج‌شده از منابع منتخب، پس از کدگذاری، در قالب مضامین حقوقی، نهادی، مالی و اجتماعی سازمان‌دهی شدند. مفاهیم کلیدی در چهار محور حقوقی، نهادی، مالی و فرهنگی استخراج شدند که نحوهٔ استخراج این چهار محور از طریق تحلیل مضمون در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. فرایند تحلیل مضمون و استخراج محورها از اسناد شهرداری تهران

ردیف	مرحلهٔ تحلیل مضمون	شرح اقدام انجام‌شده	نمونه دادهٔ استخراج‌شده از اسناد شهرداری تهران	محور نهایی استخراج‌شده
۱	آشنایی با داده‌ها	مطالعهٔ اسناد، گزارش‌ها، آیین‌نامه‌ها و پایان‌نامه‌ها در حوزهٔ سرمایه‌گذاری شهری در شهرداری تهران	گزارش ناتمام ماندن پروژهٔ سرمایه‌گذاری در منطقهٔ ۱۸ شهرداری	—
۲	کدگذاری اولیه	شناسایی مفاهیم پرتکرار و کلیدی در متن اسناد	«فقدان قانون خاص»، «تعدد مراجع تصویب»، «ابهام در مسئولیت‌ها»	کدهای حقوقی
۳	جست‌وجوی مضامین	گروه‌بندی کدهای مشابه و شناسایی الگوهای معنایی مشترک	«اختلال در هماهنگی»، «موازی‌کاری نهادی»، «نبود نهاد مرکزی PPP»	مضمون نهادی
۴	بازبینی مضامین	بررسی انسجام مضامین با کل داده‌ها و دسته‌بندی چهارگانهٔ آن‌ها	«عدم تنوع تأمین مالی»، «اتکا به ملک»، «نبود مشوق مالی»	مضمون مالی
۵	تعریف و نام‌گذاری	تعیین نام علمی برای مضامین اصلی و تدوین تعاریف روشن برای هر یک	«نگرش منفی به بخش خصوصی»، «بی‌اعتمادی اجتماعی»، «ضعف فرهنگ مشارکت»	مضمون فرهنگی
۶	تدوین گزارش نهایی	استفاده از مضامین نهایی در تحلیل مقاله و تطبیق آن‌ها با چارچوب‌های نظری بین‌المللی	تطبیق با الزامات public private partnership world bank Handbook (۷, ۸)	حقوقی، نهادی، مالی، فرهنگی

1. Thematic Analysis
2. Scopus

۳-۴. اعتبارسنجی و قابلیت اعتماد یافته‌ها

به منظور افزایش اعتبار و قابلیت اعتماد یافته‌ها، از روش مثلث‌سازی داده‌ها[1] استفاده شد؛ به این شکل که یافته‌های استخراج‌شده از مقالات علمی، اسناد رسمی شهرداری و چارچوب‌های بین‌المللی با یکدیگر مقایسه و هم‌راستا شدند. این رویکرد موجب کاهش سوگیری تفسیری و افزایش انسجام تحلیلی نتایج پژوهش شد. همچنین، امکان شناسایی شکاف‌های اجرایی و تطابق یا تفاوت وضعیت موجود در شهرداری تهران با استانداردهای بین‌المللی را فراهم ساخت که به‌تفصیل در جدول ۳ تحلیل تطبیقی میان یافته‌های مستند در شهرداری تهران و الزامات سند مشارکت عمومی خصوصی بانک جهانی ارائه شده است.

جدول ۳. تطبیق بین موانع اجرایی در شهرداری تهران و الزامات بانک جهانی

ردیف	محور موضوعی	یافته‌های مستند در شهرداری تهران	الزامات مطرح‌شده در public private partnership world bank Handbook(7, 8)	شکاف یا تفاوت شناسایی‌شده
۱	چارچوب حقوقی	فقدان قانون خاص برای PPP، تفسیرهای متناقض از قوانین موجود	نیاز به چارچوب قانونی خاص و شفاف با تعیین حدود مسئولیت‌ها و ضمانت‌های اجرایی	نبود قوانین اختصاصی و چندگانگی حقوقی
۲	ساختار نهادی	ناهماهنگی بین واحدهای شهرداری، نبود نهاد مرکزی برای هدایت پروژه‌های مشارکتی	تأسیس نهاد هماهنگ‌کنندهٔ مستقل PPP با اختیارات قانونی و ظرفیت اجرایی	فقدان نهاد راهبری متمرکز در تهران
۳	شفافیت و اطلاعات	نبود بانک اطلاعاتی متمرکز پروژه‌ها، عدم انتشار فراخوان عمومی و سوابق قراردادها	الزامی بودن انتشار اطلاعات پروژه، سوابق مشارکت‌ها، و گزارش‌های مالی برای جذب سرمایه‌گذار	فقدان شفافیت و دسترسی آزاد به داده‌ها
۴	ابزارهای مالی	اتکای صرف به بودجهٔ شهرداری یا پیش‌فروش ملک، نبود تنوع در مدل‌های مالی مشارکتی	استفاده از ترکیب مدل‌های تأمین مالی BOT، BOO، Islamic Finance، صندوق‌های تضمینی و ضمانتی	محدود بودن گزینه‌های تأمین مالی
۵	ارزیابی ریسک	نبود نظام ارزیابی ساخت‌یافته، توزیع نامتعادل ریسک بین بخش عمومی و خصوصی	تدوین نظام ارزیابی ریسک و تقسیم عادلانه ریسک بر اساس تخصص و ظرفیت هر طرف	فقدان مکانیزم رسمی برای ارزیابی ریسک

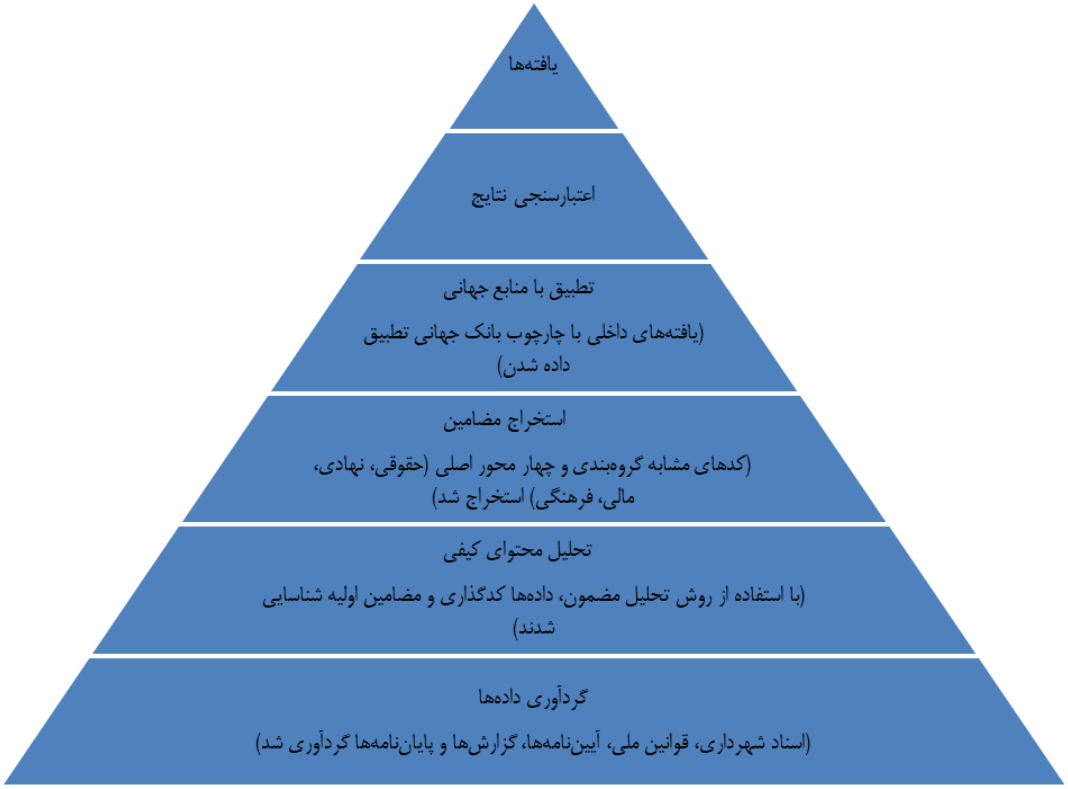
اعتبارسنجی نتایج نیز از طریق مرور منابع چندگانه[2] و تحلیل همگرایی محتوایی میان منابع داخلی و بین‌المللی صورت گرفت. به این‌ترتیب، در مرحلهٔ نهایی تحلیل، مضامین استخراج‌شده از تحلیل محتوای کیفی، در چارچوب نظری پژوهش تفسیر شدند. به این‌منظور، یافته‌ها با چارچوب نهادی مشارکت عمومی ـ خصوصی و چارچوب سیاستگذاری و حکمرانی مشارکت عمومی ـ خصوصی ارائه‌شده در راهنمای بانک جهانی تطبیق داده شدند. تحلیل ارائه شده در جدول ۴ نشان می‌دهد چگونه اعتبارسنجی نتایج پژوهش با استفاده از تکنیک مرور منابع چندگانه انجام شده است. این روش باعث افزایش دقت، قابلیت اعتماد، و جامعیت یافته‌ها در مطالعات کیفی می‌شود. برای پژوهش‌های کیفی از کتاب راهنما استفاده شد [۲۲].

جدول ٤. اعتبارسنجی نتایج از طریق مرور منابع چندگانه

ردیف	نوع منبع مورد استفاده	نمونه منابع بررسی‌شده	هدف از استفاده در اعتبارسنجی	نتیجه یا تقویت یافته‌ها
۱	اسناد داخلی شهرداری تهران	آیین‌نامهٔ مشارکت شهرداری، گزارش پروژه‌های نیمه‌تمام، صورت‌جلسات شورا	بررسی وضعیت عملیاتی و موانع واقعی از دیدگاه اجرایی	شناسایی مشکلات ساختاری، ناهماهنگی نهادی
۲	مطالعات دانشگاهی و پایان‌نامه‌ها	مطالعهٔ تجربه‌نگاری درس آموخته‌ها در حوزهٔ سرمایه‌گذاری و مشارکت‌های مردمی شهرداری تهران با رویکرد آسیب‌شناسی فرایندهای موجود و ارائهٔ راهکار، اسفندماه (۱۴۰۳)، مرکز مطالعات شهرداری تهران	استفاده به عنوان منبع تجربی زمینه‌ای برای اعتبارسنجی یافته‌ها و تطبیق موانع اجرایی استخراج‌شده با تجربیات واقعی شهرداری تهران	تأیید مضامین مالی و فرهنگی مستخرج
۳	مقررات و قوانین رسمی ملی	قوانین بودجهٔ شهرداری، آیین‌نامهٔ مالی، قانون شهرداری‌ها	تحلیل حقوقی وضعیت مشارکت عمومی ـ خصوصی در نظام حقوقی ایران	تأیید ضعف در چارچوب قانونی و نبود قانون اختصاصی PPP
۴	منابع بین‌المللی و راهنماهای جهانی	public private partnership world bank Handbook [۷ و ۸]، مطالعات بانک توسعهٔ آسیا (ADB) [۱۹]	مقایسه با تجربیات موفق جهانی و تعیین شکاف‌های ساختاری	کشف تفاوت در نهادسازی و ارزیابی ریسک

1. Triangulation
2. Triangulation

شکل ۱ موارد یادشده را در فرایند روش تحقیق مقاله به صورت گام‌به‌گام نمایش می‌دهد. این فلوچارت نشان می‌دهد چگونه مراحل گردآوری داده‌ها، تحلیل مضمون، تطبیق با منابع جهانی و اعتبارسنجی چندمنبعی به صورت منسجم انجام شده تا به استخراج یافته‌ها و ارائهٔ پیشنهادهای سیاستی منجر شود.



شکل ۱. مراحل اجرای روش تحقیق مقاله

۴. یافته‌ها

یافته‌های این پژوهش بر اساس تحلیل محتوای کیفی اسناد، گزارش‌ها و منابع منتخب، در قالب چهار محور تحلیلی اصلی شامل حقوقی، نهادی، مالی ـ اقتصادی و اجتماعی ـ فرهنگی سازمان‌دهی شده‌اند. در هر محور، ابتدا متغیرهای کلیدی شناسایی‌شده معرفی می‌شوند، سپس مکانیزم انتقال اثر آن‌ها بر فرایند جذب سرمایه‌گذاری تبیین می‌شود و در نهایت پیامدهای اجرایی و سیاستی هر محور مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

۴–۱. محور حقوقی

۴–۱–۱. متغیرهای کلیدی حقوقی شناسایی‌شده

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد متغیرهای حقوقی مؤثر بر جذب سرمایه‌گذاری در پروژه‌های مدیریت شهری شهرداری تهران شامل نبود قانون جامع مشارکت عمومی ـ خصوصی، ابهام در تعهدات قراردادی، ضعف ضمانت‌های اجرایی و نبود سازوکارهای شفاف حل اختلاف هستند. این متغیرها به عنوان عوامل ساختاری، زمینهٔ بروز نااطمینانی حقوقی در فرایند مشارکت را فراهم می‌کنند.

۴–۱–۲. مکانیزم انتقال اثر بر جذب سرمایه‌گذاری

از منظر مکانیزم اثرگذاری، ضعف چارچوب حقوقی از طریق افزایش عدم قطعیت قراردادی و حقوقی، موجب افزایش ریسک ادراک‌شدهٔ سرمایه‌گذاران خصوصی می‌شود. این نااطمینانی باعث می‌شود سرمایه‌گذاران یا از ورود به پروژه‌های شهری خودداری کنند یا بازده بالاتری مطالبه کنند که در نهایت جذابیت اقتصادی پروژه‌ها را کاهش می‌دهد.

۴-۱-۳. پیامدهای سیاستی و اجرایی

پیامد این وضعیت برای مدیریت شهری، کاهش رقابت‌پذیری پروژه‌های سرمایه‌گذاری و افزایش احتمال شکست یا توقف پروژه‌های مشارکتی است. در سطح سیاستی، این یافته نشان می‌دهد اصلاح چارچوب‌های حقوقی و تدوین قوانین اختصاصی مشارکت عمومی ـ خصوصی، پیش‌شرط اساسی بهبود نظام جذب سرمایه‌گذاری شهری محسوب می‌شود.

۴-۲. محور نهادی

۴-۲-۱. متغیرهای کلیدی نهادی شناسایی‌شده

در بعد نهادی، متغیرهایی نظیر نبود نهاد مرکزی و مسئول هدایت پروژه‌های مشارکتی، ناهماهنگی میان واحدهای مختلف شهرداری، تعارض وظایف میان سازمان‌ها، ضعف ظرفیت‌های تخصصی موجود و نبود نقشهٔ راه مشخص برای اجرای مشارکت عمومی ـ خصوصی شناسایی شدند. این عوامل بیانگر ساختار نهادی پراکنده و غیرمنسجم در مدیریت پروژه‌های سرمایه‌گذاری شهری هستند.

۴-۲-۲. مکانیزم انتقال اثر بر جذب سرمایه‌گذاری

ضعف نهادی از طریق ایجاد اصطکاک در فرایند تصمیم‌گیری، طولانی شدن مراحل اداری و افزایش هزینه‌های مبادله، به طور مستقیم بر رفتار سرمایه‌گذاران اثر می‌گذارد. ناهماهنگی نهادی باعث تأخیر در تصویب پروژه‌ها، تغییرات مکرر در تصمیمات و افزایش عدم قطعیت اجرایی می‌شود که این امر اعتماد سرمایه‌گذاران خصوصی را تضعیف می‌کند و تمایل آن‌ها به مشارکت را کاهش می‌دهد.

۴-۲-۳. پیامدهای سیاستی و اجرایی

پیامد نهادی این وضعیت، کاهش کارایی فرآیندهای جذب سرمایه و از دست رفتن فرصت‌های سرمایه‌گذاری شهری است. از منظر سیاستی، یافته‌ها نشان می‌دهند ایجاد یک نهاد متمرکز و توانمند برای راهبری مشارکت‌های عمومی - خصوصی، شرط لازم برای کاهش اصطکاک نهادی و افزایش قابلیت پیش‌بینی تصمیمات در مدیریت شهری است.

۴-۳. محور مالی - اقتصادی

۴-۳-۱. متغیرهای کلیدی مالی شناسایی‌شده

در محور مالی - اقتصادی، متغیرهایی همچون اتکای بیش از حد به روش‌های سنتی تأمین مالی، نبود تنوع در ابزارهای مالی مشارکتی، عدم تضمین بازگشت سرمایه، ضعف در طراحی مدل‌های درآمدی پروژه‌ها و ناتوانی در قیمت‌گذاری منطقی خدمات عمومی شناسایی شدند. این عوامل موجب کاهش جذابیت اقتصادی پروژه‌های شهری برای بخش خصوصی می‌شوند.

۴-۳-۲. مکانیزم انتقال اثر بر جذب سرمایه‌گذاری

مکانیزم اثرگذاری این متغیرها از طریق به هم زدن تعادل میان ریسک و بازده مورد انتظار سرمایه‌گذار عمل می‌کند. نبود ابزارهای مالی متنوع و سازوکارهای حمایتی، باعث انتقال بخش عمدهٔ ریسک به سرمایه‌گذار خصوصی می‌شود و در نتیجه، انگیزهٔ مشارکت در پروژه‌های شهری را کاهش می‌دهد. این وضعیت موجب می‌شود سرمایه‌های خصوصی به سمت پروژه‌های کم‌ریسک‌تر یا بخش‌های غیرشهری هدایت شوند.

۴-۳-۳. پیامدهای سیاستی و اجرایی

پیامد مالی این وضعیت، محدود شدن منابع تأمین مالی پروژه‌های شهری و افزایش وابستگی شهرداری به منابع داخلی است. در سطح سیاستی، یافته‌ها بر ضرورت توسعهٔ ابزارهای نوین تأمین مالی، طراحی مدل‌های درآمدی شفاف و ایجاد سازوکارهای تضمین بازگشت سرمایه برای افزایش جذابیت اقتصادی پروژه‌های شهری تأکید دارند.

۴-۴. محور اجتماعی ــ فرهنگی

۴-۴-۱. متغیرهای کلیدی اجتماعی - فرهنگی شناسایی‌شده

در بعد اجتماعی - فرهنگی، متغیرهایی نظیر نگرش منفی به مشارکت بخش خصوصی، بی‌اعتمادی اجتماعی نسبت به

خصوصی‌سازی خدمات عمومی، مقاومت سیاسی یا محلی در برابر پروژه‌های مشارکتی و ضعف شفافیت در فرایند انتخاب شریک خصوصی شناسایی شدند. این متغیرها نشان‌دهندهٔ چالش‌های نرم و غیررسمی در فرایند جذب سرمایه‌گذاری شهری هستند.

۴-۴-۲. مکانیزم انتقال اثر بر جذب سرمایه‌گذاری

این متغیرها از طریق افزایش ریسک اجتماعی و سیاسی پروژه‌ها بر جذب سرمایه‌گذاری اثر می‌گذارند. مقاومت اجتماعی یا بی‌اعتمادی عمومی می‌تواند به اعتراضات محلی، فشارهای سیاسی و تغییر در دامنهٔ پروژه‌ها منجر شود که در نهایت، هزینه‌ها و ریسک سرمایه‌گذاری را افزایش داده و تمایل بخش خصوصی به مشارکت را کاهش می‌دهد.

۴-۴-۳. پیامدهای سیاستی و اجرایی

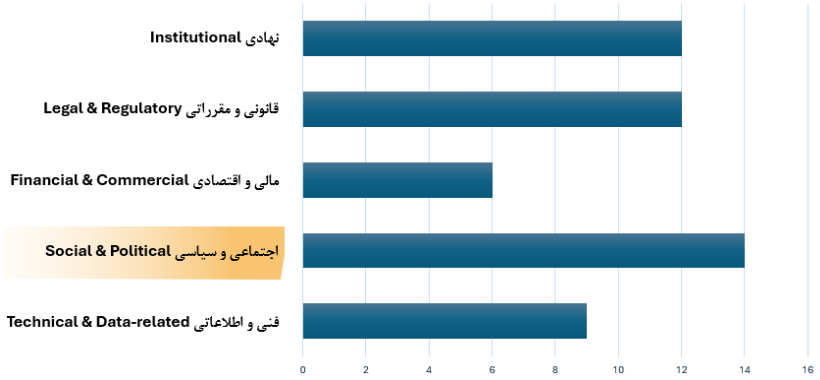
پیامد اجتماعی این وضعیت، کاهش مشروعیت پروژه‌های مشارکتی و افزایش احتمال توقف یا تغییر مسیر آن‌هاست. از منظر سیاستی، یافته‌ها نشان می‌دهند ارتقای شفافیت، مشارکت ذی‌نفعان و تقویت اعتماد عمومی، نقش مهمی در کاهش ریسک اجتماعی و بهبود فرایند جذب سرمایه‌گذاری در مدیریت شهری دارد.

جدول ۵. تلفیق یافته‌های چهارگانهٔ مقاله

محور تحلیلی	متغیر کلیدی شناسایی‌شده	مکانیزم انتقال اثر بر جذب سرمایه‌گذاری	پیامد اجرایی و سیاستی
حقوقی	نبود قانون جامع و اختصاصی مشارکت عمومی - خصوصی	افزایش عدم قطعیت حقوقی و قراردادی ← افزایش ریسک ادراک‌شده سرمایه‌گذار	کاهش تمایل بخش خصوصی به مشارکت و افزایش احتمال توقف یا شکست پروژه‌ها
حقوقی	ابهام در حقوق، تعهدات و ضمانت‌های اجرایی قراردادها	نااطمینانی در بازگشت سرمایه ← مطالبه بازده بالاتر یا خروج سرمایه‌گذار	کاهش جذابیت اقتصادی پروژه‌ها و افزایش هزینه‌های قراردادی
حقوقی	نبود رویه شفاف حل اختلاف و فسخ قرارداد	افزایش ریسک حقوقی در دورهٔ اجرا	کاهش پایداری قراردادهای مشارکتی
نهادی	نبود نهاد مرکزی و مسئول هدایتPPP	اصطکاک نهادی و تصمیم‌گیری چندگانه ← تأخیر در فرایندها	از دست رفتن فرصت‌های سرمایه‌گذاری و کاهش اعتماد سرمایه‌گذاران
نهادی	ناهماهنگی میان واحدهای شهرداری و تعارض وظایف	افزایش هزینه‌های مبادله و بی‌ثباتی تصمیمات	کاهش کارایی نظام جذب سرمایه
نهادی	ضعف ظرفیت‌های تخصصی نهادی	تصمیم‌گیری غیرتخصصی و تغییرات مکرر پروژه	افزایش ریسک اجرایی پروژه‌های مشارکتی
مالی - اقتصادی	اتکای بیش از حد به روش‌های سنتی تأمین مالی	نبود تعادل ریسک - بازده برای سرمایه‌گذار خصوصی	کاهش جذابیت پروژه‌های شهری برای سرمایه‌گذاری
مالی - اقتصادی	نبود ابزارهای نوین تأمین مالی و تضمین بازگشت سرمایه	انتقال بخش عمده ریسک به سرمایه‌گذار خصوصی	هدایت سرمایه‌ها به بخش‌های غیرشهری یا کم‌ریسک‌تر
مالی - اقتصادی	ضعف در طراحی مدل‌های درآمدی و قیمت‌گذاری خدمات	عدم پیش‌بینی‌پذیری جریان‌های درآمدی پروژه	افزایش احتمال شکست مالی پروژه‌ها
اجتماعی - فرهنگی	نگرش منفی به مشارکت بخش خصوصی	کاهش مشروعیت اجتماعی پروژه‌ها	افزایش مقاومت سیاسی و اجتماعی
اجتماعی - فرهنگی	بی‌اعتمادی عمومی نسبت به خصوصی‌سازی	افزایش ریسک اجتماعی پروژه‌ها	توقف، تغییر دامنه یا تعویق پروژه‌های مشارکتی
اجتماعی - فرهنگی	ضعف شفافیت در انتخاب شریک خصوصی	تقویت تصور فساد یا رانت	کاهش اعتماد سرمایه‌گذاران و شهروندان

جدول ۵ نشان می‌دهد موانع اجرایی جذب سرمایه‌گذاری در شهرداری تهران نه به صورت منفرد، بلکه از طریق زنجیره‌ای از مکانیزم‌های حقوقی، نهادی، مالی و اجتماعی عمل می‌کنند که در صورت عدم اصلاح هم‌زمان، اثرات یکدیگر را تشدید می‌کنند. در مجموع، یافته‌ها نشان می‌دهند موانع جذب سرمایه‌گذاری در پروژه‌های مدیریت شهری شهرداری تهران ماهیتی چندبعدی دارند و تعامل میان متغیرهای حقوقی، نهادی، مالی و اجتماعی، بیش از هر عامل منفردی بر موفقیت یا ناکامی مشارکت‌های عمومی ـ خصوصی اثرگذار است. تداوم این موانع، بدون اصلاحات هماهنگ و چندسطحی، موجب کاهش توان شهرداری در بهره‌گیری از ظرفیت‌های بخش خصوصی خواهد شد.

به منظور ترسیم میزان اثر و مقایسهٔ هریک از موانع ارائه‌شده تا کنون نمودار ۱ شدت اثر هر یک از چهار محور تحلیلی (حقوقی، نهادی، مالی، فرهنگی/اجتماعی) را بر فرایند جذب سرمایه‌گذار در شهرداری تهران نشان می‌دهد. این مقادیر بر اساس داده‌های پرسش‌نامه‌ای و تحلیل کیفی به صورت نسبی در مقیاس ۱ تا ۵ تنظیم شده‌اند.



نمودار ۱. شدت اثر موانع اجرایی بر فرایند جذب سرمایه‌گذار در شهرداری تهران

جدول ٦. مقایسهٔ تطبیقی مشکلات و چالش‌های PPP در شهرداری تهران با موانع راهنمای جامع بانک جهانی

ردیف	موانع ppp در شهرداری تهران	محور				
		۱	۲	۳	٤	٥
۱	نگاه پیمانکاری به سرمایه‌گذاران		✓	✓	✓	
۲	عدم سودآوری لازم در پروژه‌های زیرساختی نسبت به سایر پروژه‌ها			✓	✓	✓
۳	عدم ثبات مدیریتی و تغییرات مکرر	✓			✓	
۴	نبود انسجام و هماهنگی بین نهادهای شهرداری در حوزهٔ سرمایه‌گذاری	✓			✓	
۵	عدم ثبت قوانین و مقررات	✓	✓		✓	
۶	استفاده از روش فراخوان عمومی و عدم امکان بهره‌مندی از تکنیک‌های بازاریابی		✓		✓	✓
۷	بروکراسی پیچیده و زمان‌بر	✓	✓		✓	
۸	مشکلات ارزیابی‌های کارشناسان رسمی و عدم اعتماد به مشاوران ذی‌صلاح حوزهٔ کسب‌وکار		✓	✓	✓	
۹	ضعف در شناسایی فرصت‌های سرمایه‌گذاری	✓		✓	✓	✓
۱۰	نبود امنیت سرمایه‌گذاری در اقتصاد کشور		✓		✓	✓
۱۱	فرایند نامناسب رسیدن به مرحلهٔ عقد قرارداد سرمایه‌گذاری مشارکتی با شهرداری تهران	✓	✓		✓	✓
۱۲	نبود زیر ساخت‌های لازم به جهت سرمایه‌گذاری	✓				
۱۳	مشخص نبودن استراتژی کلان سرمایه‌گذاری در شهر تهران	✓	✓	✓		
۱۴	مشکلات اسناد مالکیت و مجوزها	✓	✓			✓
۱۵	تغییرات در مفاد قراردادها و اسکوپ پروژه‌ها	✓			✓	✓
۱۶	فقدان مطالعات امکان سنجی به‌خصوص مطالعات بازار				✓	✓
۱۷	ایرادهای حقوقی و قراردادی	✓	✓			✓
۱۸	مشکلات مربوط به نظریات کارشناسان رسمی دادگستری		✓	✓	✓	

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل محتوای اسناد شهرداری تهران و تطبیق آن‌ها با چارچوب‌های جهانی مشارکت عمومی ـ خصوصی، نشان می‌دهد چالش‌های جذب سرمایه‌گذار در پروژه‌های مدیریت شهری عمدتاً ریشه در ضعف‌های ساختاری، قانونی و نهادی دارد. همان‌طور که در نمودار ۱ مشخص شد، موانع حقوقی و مالی بیشترین اثر منفی را بر فرایند جذب سرمایه‌گذاری دارند؛ در حالی که موانع فرهنگی ـ اجتماعی نیز گرچه کمتر، اما نقش بازدارنده‌ای دارند.

بانک جهانی در هندبوک مشارکت عمومی ـ خصوصی به‌صراحت بر وجود یک چارچوب حقوقی پایدار و اختصاصی برای پروژه‌های مشارکتی تأکید دارد. این در حالی است که در شهرداری تهران، خلأهای قانونی و نبود قوانین اختصاصی مشارکت عمومی ـ خصوصی باعث ابهام در مسئولیت‌ها و تفسیرهای متناقض می‌شود. این ضعف حقوقی به طور مستقیم بر امنیت قراردادها، زمان اجرای پروژه‌ها، و اعتماد سرمایه‌گذار اثر منفی دارد.

از منظر نهادی نیز مقایسه با کشورهای موفق نظیر هند و ترکیه نشان می‌دهد ایجاد نهادهای هماهنگ‌کنندهٔ مستقل مانند واحد مستقل مشارکت عمومی خصوصی نقش تعیین‌کننده‌ای در تسریع روند جذب سرمایه‌گذاری داشته است. در مقابل، در شهرداری تهران ساختارهای سازمانی پراکنده و نبود وحدت رویه در تصمیم‌گیری، از عوامل اساسی شکست یا تعویق پروژه‌های مشارکتی محسوب می‌شوند.

از جنبهٔ مالی، ناکارآمدی ابزارهای تأمین سرمایه و اتکای سنتی به منابع داخلی شهرداری (مانند فروش املاک یا پیش‌فروش پروژه‌ها) موجب شده بخش خصوصی رغبتی به ورود در پروژه‌ها نداشته باشد. در مقابل، تجربهٔ کشورهای دیگر نشان می‌دهد استفاده از ابزارهایی همچون حسابداری اسلامی، اوراق درآمدی و بسته‌های تضمینی، می‌تواند انگیزهٔ سرمایه‌گذاری را تقویت کند.

در نهایت، از بعد فرهنگی، یافته‌ها بیانگر آن است که نگاه منفی به مشارکت بخش خصوصی و ضعف در فرهنگ اعتماد عمومی، بر فرایند جذب سرمایه‌گذار سایه افکنده است. برای حل این مسئله، آموزش عمومی، شفاف‌سازی قراردادها و افزایش مشارکت شهروندان در فرایند تصمیم‌گیری پیشنهاد می‌شود.

در مجموع، برای رفع موانع موجود و ارتقای توان شهرداری در جذب سرمایه‌گذاری، مجموعه‌ای از اصلاحات حقوقی، نهادی، مالی و فرهنگی با الگوبرداری از تجارب موفق جهانی ضروری به نظر می‌رسد.

پیشنهادهای کاربردی

تطبیق یافته‌های استخراج‌شده از اسناد شهرداری با چارچوب‌های بین‌المللی به‌ویژه راهنمای بانک جهانی حاکی از آن است که بسیاری از عناصر بنیادین موفقیت در پروژه‌های مشارکت عمومی ـ خصوصی، از جمله وجود نهاد متمرکز، شفافیت اطلاعاتی، و نظام ارزیابی ریسک در ساختارهای فعلی شهرداری تهران جایگاه مؤثری ندارند. این ناهماهنگی به کاهش اعتماد سرمایه‌گذاران و تضعیف ظرفیت‌های اجرایی در مدیریت پروژه‌های مشارکتی منجر شده است.

برای پاسخ به این چالش‌ها، با تحلیلی جزئی‌تر و عمیق‌تر، مصادیق موانع کلیدی راهنمای جامع بانک جهانی نیز براساس بیشترین انطباق با اجرای مشارکت عمومی ـ خصوصی در شهرداری تهران دارد به شرح زیر (جدول ۷) اولویت‌بندی و برای تولید ایده‌های سیاستی ارائه می‌شود.

جدول ۷. اولویت بندی بر اساس بیشترین انطباق با اجرای مشارکت عمومی خصوصی در شهرداری تهران

اولویت	محور	مصادیق موانع کلیدی (براساس اولویت)
اول	اجتماعی و سیاسی Social & Political	ترس از فساد یا سوءاستفاده بی‌توجهی به دیدگاه‌های ذی‌نفعان در طراحی پروژه‌ها مقاومت عمومی یا سیاسی نگرانی از واگذاری خدمات عمومی به بخش خصوصی ضعف شفافیت در فرایند انتخاب شریک خصوصی یا فساد در آن
دوم	نهادی Institutional	تعارض وظایف بین نهادها نبود نهاد مسئول و هماهنگ‌کننده ضعف ظرفیت‌های موجود
	قانونی و مقرراتی Legal & Regulatory	عدم تطابق با استانداردهای بین‌المللی نبود رویه‌های مشخص برای توزیع ریسک، فسخ قرارداد، و حل اختلاف عدم شفافیت حقوق و تعهدات طرفین نبود و ضعف چارچوب قانونی
سوم	مالی و اقتصادی Financial & Commercial	ضعف در طراحی مدل‌های تأمین مالی چالش‌های تنظیم تعرفه‌های پایدار و قابل قبول برای خدمات عمومی (مانند حمل‌ونقل، آب، پسماند و...) عدم جذابیت مالی پروژه‌ها برای بخش خصوصی یا فقدان ابزارهای نوین تأمین مالی عدم تضمین بازگشت سرمایه ناتوانی در قیمت‌گذاری منطقی خدمات نبود مکانیزم‌های حمایتی مانند تضمین‌های حداقل درآمد، خرید تضمینی یا وثیقه‌های اعتباری
چهارم	فنی و اطلاعاتی Technical & Data-related	فقدان داده‌های معتبر ضعف در شناسایی و آماده‌سازی پروژه‌ها نبود بانک اطلاعات فرصت‌های سرمایه‌گذاری یا مطالعات امکان‌سنجی دقیق نبود اسناد تیپ قرارداد، راهنمای ارزیابی ریسک، یا سیستم رتبه‌بندی پروژه‌ها نبود استانداردسازی و شفافیت عدم دسترسی به داده‌های فنی، مالی، عملکردی و حقوقی پروژه‌های پیشین

منابع

1. Almarri K, Boussabaine H. Critical success factors for public–private partnerships in smart city infrastructure projects. Construction Innovation. 2025;25(2):224-47.
2. France-Mensah J, Kothari C, O'Brien WJ, Jiao J. Integrating social equity in highway maintenance and rehabilitation programming: A quantitative approach. Sustainable cities and society. 2019;48:101526.
3. Sclar E. The political economics of investment Utopia: public–private partnerships for urban infrastructure finance. Journal of Economic Policy Reform. 2015;18(1):1-15.
4. Ghafari E, Daneshfard K, Memarzadeh Tehran G. Designing a Public-Private Partnership Model in Urban Development Infrastructure Projects: A study on Tehran Municipality. Iranian journal of management sciences. 2020;15(60):27-50. [In Persian]
5. Tilaki MJM, Abdullah A, Bahauddin A, Marzbali MH. An evaluation to identify the barriers to the feasibility of urban development plans: Five decades of experience in urban planning in Iran. Journal of Urban and Environmental Engineering. 2014;8(1):38-47.
6. Sarvari H, Nassereddine H, Chan DW, Amirkhani M, Md Noor N. Determining and assessing the significant barriers of transferring unfinished construction projects from the public sector to the private sector in Iran. Construction Innovation. 2021;21(4): 592-607.
7. Bank W. Public-private partnerships: Reference guide version 3. World Bank Washington, DC; 2017.
8. Hodge GA, Greve C, Boardman AE. International handbook on public-private partnership: Edward Elgar Publishing; 2010.
9. Stadtler L, Probst G. How broker organizations can facilitate public–private partnerships for development. European Management Journal. 2012;30(1):32-46.
10. Yescombe ER. Public-private partnerships: principles of policy and finance: Elsevier; 2011.
11. Abdel Aziz AM. Successful delivery of public-private partnerships for infrastructure development. Journal of construction engineering and management. 2007;133(12):918-31.
12. Yakubova S, Yunusova S, Shaislamova N, Murodov S, Avazov N, Shovkatov N, editors. The role of public-private partnerships in financing infrastructure projects. E3S Web of Conferences; 2021: EDP Sciences.
13. Vale de Paula P, Marques R, Gonçalves JM. Critical Success Factors for Public-Private Partnerships in Urban Regeneration Projects. Rui and Gonçalves, Jorge Manuel, Critical Success Factors for Public-Private Partnerships in Urban Regeneration Projects. 2024.
14. Nasiri Sagharloo S. Municipal Construction Project Failure Factors in Tehran, Iran. 2023.
15. Pourahmad A, Lotfi S, Omranzadeh B, Mahdi A. The failure of the integrated urban management in Iran: an analysis from the perspective of interactive and legal problems between the state and municipality. International Journal of Management Science. 2015;2(1):1-12.
16. Alizadeh H, Meshkini A. On the road to urban sustainability: identifying major barriers to urban sustainability in Iran. Review of Regional Research. 2025:1-26.
17. Shokri M, Elmimoghaddam M. Examining the Barriers to Private Sector Participation in Khorramabad Municipal Projects. Urban Economics and Planning. 2025;5(4):140-51.
18. Rasouli S, Mehboob Lotfkar A. Evaluating the Failure of Municipalities in Attracting Private Sector Investors. Public Organizations Management. 2024;12(Series 48):167-86.
19. GOVERNORS BO. Asian Development Bank—ADB. Organization. 2020.
20. Chan DW, Sarvari H, Husein AAJA, Awadh KM, Golestanizadeh M, Cristofaro M. Barriers to attracting private sector investment in public road infrastructure projects in the developing country of Iran. Sustainability. 2023;15(2):1452.
21. Creswell JW, Clark VLP. Designing and conducting mixed methods research: Sage publications; 2017.
22. Flick U. The SAGE handbook of qualitative research quality: SAGE Publications Limited; 2024.
23. Farah Binti Ibrahim & Amer Hamzah Bin Jantan. Challenges, Barriers and Solutions in Public-Private Partnerships (PPP): A Comprehensive Review. International Journal of Professional Business Review,2025, 9(10).
24. M. Jiang et al.. Local Government's Intention to Use Public-Private Partnerships MDPI Sustainability. 2025.

Urban Development Policy Making
Vol. 3, No. 1, Spring 2026

Contents

- **Data-Driven Application of the Water and Power Observatory in Flood Management in the Metropolis of Ahvaz 1**

Mostafa Masoumi, Seyed Ebrahim Hosseini, Gholamhossein Karimi, Aref Vaeli, Ardeshir Kalani

- **Feasibility Study of Reusing Urban Runoff and Treated Municipal Wastewater for Irrigation of Urban Spaces in Tehran 19**

Zohreh Hesami, Seyed Alireza Taheri Riabi, Javad Yahaghi

- **Studying Successful Urban Investment Models In Developed Countries With An Emphasis On Innovative Approaches: Developing A Proposed Model For Tehran Municipality 33**

Masoud Reza Rabiei Beheshti, Mohammad Reza Latifi Sabet

- **Strategic Analysis of Water Recycling and Reuse Using the SWOT–QSPM Model within the Framework of Sustainable Governance 51**

Hamideh Baseri Baghsiyah, Omid Afkhami, Maryam Afkhami

- **Urban Water Sustainability through Energy-Free Fog Water Harvesting: A Review of Fog-Collecting Systems 69**

Mohammadali Allahrabbi Shirazi, Hossein Yousefi, Amirhossein Fathi, Mehdi Baneshi

- **Requirements for implementing participatory governance in urban management; Analysis of the participatory budgeting experience in Tehran Municipality 95**

Ali Alaeddini, Hadi Heidari Gharehbolagh

- **The Concentration Trap and Tehran's Water Crisis: Impact of Socio-Economic Agglomeration and Population Growth on the Instability of Urban Drinking Water Resources 113**

Majid Sayyari

- **Bararies of Investment Attractiveness in Tehran Megacity with a Comparative Approach 135**

Mahmoud Olad Ghareh Ghouz, Amirhossein Azimpour

- **Strategic analysis of the role of municipalities in water resources management 159**

Mona Masoudi Ashtiani, Hamid Kardan Moghaddam

- **Analyzing the Implementation Barriers to Attracting Investment In Urban Management Projects (Case Study Of Tehran Municipality) 173**

Navid Khasehbaf, Ali Ansari, Amir Golabzaei

Journal of **Urban Development Policy Making**

Spring 2026, Vol. 3, No. 1, Serial No. 6

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

موسسه آموزش عالی علمی-کاربردی شهرداری تهران

Journal

06

Urban Development Policy Making

Spring 2026. Vol 03. Issue 01. Serial No. 06

- **Data-Driven Application of the Water and Power Observatory in Flood Management in the Metropolis of Ahvaz**
  - Mostafa Masoumi, Seyed Ebrahim Hosseini, Gholamhossein Karimi, Aref Vaeli, Ardeshir Kalani
  - **Feasibility Study of Reusing Urban Runoff and Treated Municipal Wastewater for Irrigation of Urban Spaces in Tehran**
  - Zohreh Hesami, Seyed Alireza Taheri Riabi, Javad Yahaghi
  - **Studying Successful Urban Investment Models In Developed Countries With An Emphasis On Innovative Approaches: Developing A Proposed Model For Tehran Municipality**
  - Masoud Reza Rabiei Beheshti, Mohammad Reza Latifi Sabet
  - **Strategic Analysis of Water Recycling and Reuse Using the SWOT–QSPM Model within the Framework of Sustainable Governance**
  - Hamideh Baseri Baghsiyah, Omid Afkhami, Maryam Afkhami
  - **Urban Water Sustainability through Energy-Free Fog Water Harvesting: A Review of Fog-Collecting Systems**
  - Mohammadali Allahrabbi Shirazi, Hossein Yousefi, Amirhossein Fathi, Mehdi Baneshi
  - **Requirements for implementing participatory governance in urban management; Analysis of the participatory budgeting experience in Tehran Municipality**
  - Ali Alaeddini, Hadi Heidari Gharehbolagh
  - **The Concentration Trap and Tehran's Water Crisis: Impact of Socio-Economic Agglomeration and Population Growth on the Instability of Urban Drinking Water Resources**
  - Majid Sayyari
  - **Bararies of Investment Attractiveness in Tehran Megacity with a Comparative Approach**
  - Mahmoud Olad Ghareh Ghouz, Amirhossein Azimpour
  - **Strategic analysis of the role of municipalities in water resources management**
  - Mona Masoudi Ashtiani, Hamid Kardan Moghaddam
  - **Analyzing the Implementation Barriers to Attracting Investment In Urban Management Projects (Case Study Of Tehran Municipality)**
  - Navid Khasehbaf, Ali Ansari, Amir Golabzaei