

An Overview of the Concept of Urban Digital Twin and Its Role in Urban Crisis Management*

Ali Riahi Dehkordi – Department of Urban Design, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Art, Tehran, Iran.

Amir Shakibamanesh¹– Department of Urban Design, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Art, Tehran, Iran.

Submitted: 04 March 2025 Revised: 09 February 2026 Accepted: 20 February 2026 Available online: 28 February 2026

Highlights

- An integrated framework links multilayer urban digital twin architecture with risk reduction, preparedness, response, and recovery across the crisis management cycle.
- Natural and human-made crises are comparatively examined to clarify how urban digital twins support effective management across distinct contexts.
- Urban digital twins enhance situational awareness, city visualization, simulation, prediction, and resilience within complex urban crisis management processes and decision-making.
- Implementation challenges are classified across data, infrastructure, modeling, cybersecurity, governance, and organizational acceptance within urban digital twin systems and practices.
- Localization requirements and enabling conditions for digital twins are identified for developing countries, with particular emphasis on implementation in Iran.

Extended Abstract

Introduction

The growing frequency and complexity of natural and human-made crises, alongside concentrated populations, infrastructure, and economic activity, have made crisis management a central concern in planning and governance. This issue is particularly significant in developing countries facing deteriorating infrastructure, limited resources, institutional misalignment, and social vulnerability. Iran's seismic exposure, climatic diversity, uneven urban expansion, and exposure to natural, industrial, and social hazards require a shift from reactive management toward anticipatory, data-driven approaches.

Traditional crisis management often relies on cross-sectional data, fragmented organizations, and post-event decision-making. In complex cities, where infrastructure, communication networks, population behavior, and decision-making interact, such approaches have limited capacity to predict cascading impacts or identify effective strategies.

Urban digital twins connect cities with dynamic digital representations for monitoring, prediction, scenario testing, and intervention. Yet the literature remains fragmented, architecturally inconsistent, predominantly focused on response, and lacking a framework that links technical structures to the full crisis management cycle. This study examines their effects on decision-making, coordination, and resource allocation across risk reduction, preparedness, response, and recovery in natural and human-made crises.

¹ Correspondence to: a.shakibamanesh@art.ac.ir

* This article is extracted from the doctoral dissertation of the author, Ali Riahi Dehkordi, titled " **Developing a Feasibility Framework for Urban Digital Twin Systems in A Selected Region of Tehran, Emphasizing Pre-Crisis Management(Disaster and Risk Reduction)**]," supervised by Amir Shakibamnes, at Iran University of Art.

Theoretical Framework

The framework integrates crisis management, urban digital twins, and smart urban governance. Crisis management is treated as a cycle comprising risk reduction, preparedness, response, and recovery. These stages are interdependent: response should facilitate recovery, while lessons from recovery should contribute to reducing future risks and strengthening preparedness. Effective management therefore requires the preservation, transfer, and continuous updating of knowledge throughout the cycle.

An urban digital twin is a dynamic, multilayered system that synchronizes physical and digital spaces, analyzes urban behavior, and simulates potential decisions and interventions. Its five layers comprise physical assets, populations, infrastructure, and sensors; virtual representations; historical, real-time, and external data; mathematical models, machine-learning algorithms, and simulations; and services such as dashboards, warnings, decision support, and infrastructure control.

A bidirectional loop transfers sensor, satellite, drone, social, traffic, modeling, and historical data into the digital model. Artificial intelligence and cloud, edge, or fog computing process these inputs. Outputs are returned as models, dashboards, warnings, scenarios, and commands. Three major capacities emerge: situational awareness and visualization; simulation and predictability; and collaboration, policymaking, and resilience.

Methodology

This qualitative, interpretivist, fundamental–developmental study employed a structured conceptual review. Deductive reasoning was used to apply crisis-management theory and digital-twin architecture to the classification of evidence, while conceptual synthesis was employed to reconstruct relationships among system structure, data flows, analytical capabilities, and crisis-cycle stages.

Web of Science, Scopus, ScienceDirect, and Google Scholar were searched for publications from 2009 to 2026 using combinations of crisis management, hazard management, digital twin, urban digital twin, digital twin city, and smart city digital twin. Most of the selected studies were published between 2020 and 2025. Direct relevance to concepts, architectures, data models, applications, hazard types, and implementation challenges guided inclusion. Recent sources were prioritized, while foundational studies were retained. Seventy-four articles were selected.

The analysis standardized crisis concepts and stages, compared architectures based on layers, inputs, processes, and outputs, examined capabilities before, during, and after natural and human-made crises, and classified data-related, infrastructural, systemic, organizational, and governance challenges. The findings were synthesized into a model linking technical architecture, decision-support capacities, crisis types, management stages, and institutional requirements.

Results and Discussion

Findings show that urban digital twins transform fragmented information into coherent, dynamic, decision-ready representations. By integrating historical and real-time data, physical and behavioral models, and alternative scenarios, they shift crisis management from reactive activity toward a more anticipatory, adaptive, and learning-oriented process. They support rather than replace decision-makers by reducing uncertainty, comparing interventions, and accelerating coordination.

During risk reduction and preparedness, digital twins identify physical, infrastructural, and social vulnerabilities, map hazards, predict cascading impacts, evaluate preventive strategies, and support training, evacuation exercises, route assessment, and public awareness. During preparedness and response, sensors, the Internet of Things, satellite and drone imagery, traffic data, and social sensing generate real-time situational awareness. This enables rapid damage assessment, identification of critical areas, prioritization of relief efforts, allocation of equipment, safe evacuation routing, active decision support, and, in some cases, infrastructure control. During recovery, comparisons of pre- and post-event conditions, analysis of damage, identification of weaknesses, and prediction of secondary hazards support reconstruction, policy revision, institutional learning, and resilient rebuilding.

Natural-crisis applications emphasize physical hazard processes, spatiotemporal analysis, and infrastructure vulnerability. Flood models combine hydrological, environmental, and population data; earthquake models

integrate buildings, infrastructure, seismic information, and post-event imagery; and fire models simulate fire and smoke propagation, emergency routes, and evacuation. Human-made applications emphasize operational monitoring, behavior, security, and rapid control, including failure prediction, pollutant-release simulation, threat analysis, crowd-bottleneck detection, exit optimization, and emergency coordination.

Both crisis groups follow a common logic: data acquisition, situational representation, consequence simulation, intervention comparison, recommendation transfer, and model updating. Differences concern data types, processing speeds, uncertainty, and model characteristics. Natural crises generally require environmental and terrain-based models, whereas human-made crises depend more heavily on real-time behavioral, security, and operational data.

Challenges include poor data quality, heterogeneity, missing information, sensor noise, the absence of standards, communication failures, and weak integration among information models and geographic information systems. Cybersecurity, privacy, data ownership, unclear governance, organizational resistance, undefined responsibilities, and weak participation may further undermine implementation. Technical models may also neglect social realities, local knowledge, and spatial inequalities.

For Iran and similar contexts, implementation requires digital infrastructure, clear legal frameworks, technological capacity, and organizational acceptance. Pilot projects, interoperable spatial databases, emergency communication networks, data-sharing protocols, and institutional cooperation can support localization. Maturity depends on data synchronization, predictive validity, infrastructural resilience, organizational interoperability, and social legitimacy.

Conclusion

Urban digital twins can support crisis management by connecting cities, real-time data, simulation models, and decision-making processes. Their effectiveness requires reliable data, interoperable standards, robust communication systems, cybersecurity, transparent governance, collaboration, and citizen participation. They improve resilience only when developed as human-centered, learning-oriented ecosystems embedded within broader crisis governance.

Key words

Urban digital twin; natural crises; human-made crises; smart crisis management.

Citation: Riahi Dehkordi, A., Shakibamanesh, A. (2026) An Overview of the Concept of Urban Digital Twin and Its Role in Urban Crisis Management, *Motaleate Shahri*, 15 (59), 76–93. Doi: 10.22034/urbs.2026.143266.5139.

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Motaleate Shahri. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited



مروری بر مفهوم همزاد دیجیتال شهری و نقش آن در مدیریت بحران شهری^۱

علی رباحی دهکردی، پژوهشگر دکتری شهرسازی، گروه طراحی شهری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر ایران، تهران، ایران .
امیر شکیبامنش^۲، دانشیار، گروه طراحی شهری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر ایران، تهران، ایران .

تاریخ دریافت: ۱۴ اسفند ۱۴۰۳ تاریخ بازنگری: ۱۶ آذر ۱۴۰۴ تاریخ پذیرش: ۰۶ دی ۱۴۰۴ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۹ اسفند ۱۴۰۴

چکیده

شهرهای امروزی با طیف فزاینده‌ای از بحران‌ها مواجهند که مدیریت هوشمند آنها به یک اولویت حیاتی تبدیل شده است. در پی تحولات سریع فناوری‌های دیجیتال، همزاد دیجیتال شهری به عنوان یک نوآوری کلیدی در قرن ۲۱ ظهور کرده که ابزاری محوری در مدیریت بحران محسوب می‌شود. در همین راستا، هدف این پژوهش، بررسی جامع ظرفیت‌های مفهومی و عملیاتی همزاد دیجیتال شهری در بهینه‌سازی و ارتقای مؤثر چرخه مدیریت بحران‌هاست. این پژوهش سعی بر تبیین چگونگی مداخله این ابزار کاتالیزوری در هر یک از مراحل مدیریت بحران (کاهش خطر، آمادگی و پاسخ و بازیابی) و ارتقای تصمیم‌گیری هوشمند برای کاهش آسیب‌های مالی و جانی دارد. این پژوهش با اتخاذ یک رویکرد کیفی تفسیری و راهبرد استدلالی قیاسی، درک عمیقی از ابعاد مفهومی و ساختارهای پیچیده این فناوری در بستر شهری ارائه می‌دهد. ماهیت پژوهش بنیادی-توسعه‌ای است و لحاظ بُعد زمانی، از دسته مطالعات طولی محسوب می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که همزادهای دیجیتال شهری تأثیرات عمیقی در زمینه‌هایی مانند جمع‌آوری داده‌های بلادرنگ، پیش‌بینی‌پذیری، سنجش راهبردها و مدل‌سازی و شبیه‌سازی با وضوح بالا دارند. شواهد به وضوح تأیید می‌کند که همزاد دیجیتال شهری فراتر از یک فناوری صرف، به یک مؤلفه ضروری در اکوسیستم مدیریت هوشمند بحران‌ها تبدیل شده است. قابلیت‌های این فناوری در یکپارچه‌سازی داده‌ها، شبیه‌سازی سناریوهای پیچیده و ارائه تحلیل‌های پیش‌بینانه، پشتیبانی قدرتمندی را در هر سه فاز چرخه مدیریت بحران فراهم می‌کند؛ در فاز آمادگی با بهینه‌سازی مسیرهای تخلیه و تقویت زیرساخت‌ها، در لحظه بحران با ارزیابی سریع خسارت و ارائه پاسخ هوشمند و در فاز پس از بحران به عنوان پلتفرم اطلاعاتی جامع برای بهینه‌سازی سیستم پیشگیری و افزایش تاب‌آوری آتی، فرآیند مدیریت بحران‌های شهری را بهبود می‌بخشد.

واژگان کلیدی: همزاد دیجیتال شهری، بحران‌های طبیعی، بحران‌های انسان‌ساخت، مدیریت بحران هوشمند.

نکات برجسته:

- یک چارچوب یکپارچه، معماری چندلایه همزاد دیجیتال شهری را با مراحل کاهش خطر، آمادگی، پاسخ و بازیابی در چرخه‌های مدیریت بحران پیوند می‌دهد.
- بحران‌های طبیعی و انسان‌ساخت به صورت تطبیقی بررسی می‌شوند تا چگونگی پشتیبانی همزادهای دیجیتال شهری از مدیریت اثربخش آنها در زمینه‌های متفاوت تبیین شود.
- همزادهای دیجیتال شهری، آگاهی موقعیتی، تجسم شهری، شبیه‌سازی، پیش‌بینی و تاب‌آوری را در فرآیندها و تصمیم‌گیری‌های پیچیده مدیریت بحران شهری ارتقا می‌دهند.
- چالش‌های پیاده‌سازی در حوزه‌های داده، زیرساخت، مدل‌سازی، امنیت سایبری، حکمرانی و پذیرش سازمانی در سامانه‌ها و رویه‌های همزاد دیجیتال شهری طبقه‌بندی می‌شوند.
- الزامات بومی‌سازی و شرایط پیاده‌سازی همزادهای دیجیتال برای کشورهای در حال توسعه، با تأکید ویژه بر پیاده‌سازی آنها در ایران، شناسایی می‌شوند.

^۱ این مقاله برگرفته از رساله دکتری رشته شهرسازی با عنوان "تدوین چارچوب تحقق‌پذیری سیستم‌های همزاد دیجیتال شهری در بستر منتخب از شهر تهران با تأکید بر مدیریت پیش از بحران (کاهش خطر و سوانح)" است که به وسیله نویسنده اول و با راهنمایی نویسنده دوم در دانشگاه هنر ایران در حال انجام است.

^۲ ایمیل نویسنده مسئول: a.shakibamaneh@art.ac.ir

۱. مقدمه

2021؛ Lei et al., 2026؛ Shaharuddin et al., 2021؛ Elnosh et al., 2026). این فناوری با تلفیق داده‌های متنوع، شبیه‌سازی و بازنمایی سه‌بعدی، پیش‌بینی، سناریونویسی، شناسایی آسیب‌پذیری و تدوین راهبردهای کاهش خطر را در چرخه مدیریت بحران ممکن می‌سازد (Macatulad & Ketzler et al., 2020؛ Fuller et al., 2020؛ Biljecki, 2024؛ Shaharuddin et al., 2020؛ Peldon et al., 2024؛ 2021).

بر این اساس، پژوهش حاضر ظرفیت‌های مفهومی و عملیاتی همزاد دیجیتال شهری را در مراحل کاهش خطر، آمادگی، پاسخ و بازیابی بررسی می‌کند و به دو پرسش پاسخ می‌دهد: ۱. همزاد دیجیتال چگونه کارایی مدیریت هوشمند بحران‌های شهری را ارتقا می‌دهد؟ ۲. مدل‌های همزاد دیجیتال شهری چگونه بر کارآمدی چرخه مدیریت بحران‌های طبیعی و انسان‌ساخت اثر می‌گذارند؟

پژوهش‌های بررسی‌شده در جدول شماره ۱، ظرفیت همزاد دیجیتال شهری را در ارتقای تاب‌آوری، شبیه‌سازی و پیش‌بینی بحران، یکپارچه‌سازی داده و هوش مصنوعی، مدیریت زیرساخت‌ها، تخلیه اضطراری و بهبود تصمیم‌گیری شهری تأیید می‌کنند. با این حال، چالش‌های فنی و اجرایی، موانع پذیرش و کمبود مطالعات نظام‌مند درباره کاربرد این فناوری در مدیریت پیش از بحران زلزله و تصمیم‌سازی پیش‌نگرانه، مهم‌ترین خلأهای پژوهشی این حوزه‌اند.

افزایش خسارات سوانح، به‌ویژه در کشورهای کم‌درآمد و در حال توسعه آسیا، ضرورت بازاندیشی در مدیریت بحران را برجسته کرده است. ایران نیز به دلیل تنوع مخاطرات طبیعی و انسان‌ساخت، قرارگیری در کمربند آلپ-همالیا و ناپایداری اقلیمی، به مدیریت یکپارچه بحران نیاز دارد (National Disaster Management Organization of Iran & Natural Disasters Research Institute, 2021؛ National Disaster Management Organization of Iran, 2021؛ Karimi & Taqhilou, 2020). همزمان، تداوم چالش بحران‌های بزرگ مقیاس و فرسودگی زیرساخت‌های شهری، بهره‌گیری از راهکارهای نوآورانه برای ارتقای تاب‌آوری را ضروری ساخته است (Kitsuregawa & Pu, 2013؛ Kaluarachchi, 2022). این ضرورت با اهداف توسعه پایدار ۲۰۳۰ برای ایجاد شهرهای ایمن و تاب‌آور و رویکرد شهر هوشمند مبتنی بر سرمایه انسانی، اجتماعی و فناوری همسو است (Koca et al., 2024؛ Macatulad & Biljecki, 2024؛ 2021).

همزاد دیجیتال شهری، به‌عنوان فناوری نوظهور شهر هوشمند، با تقویت برنامه‌ریزی، تصمیم‌گیری و پیوند دانش نظری با مداخله عملی، ظرفیت چشمگیری در توسعه شهری، مدیریت بلایا و حفاظت محیط‌زیست دارد؛ هرچند پراکندگی توسعه، ناهمگونی مفهومی و فقدان چارچوب‌ها و استانداردهای یکپارچه، بهره‌برداری مؤثر از آن را محدود می‌کند (Elsehrawy et al., 2021).

جدول شماره ۱: مروری بر مطالعات صورت گرفته در حوزه پژوهش

نویسندگان و سال	تمرکز اصلی پژوهش	یافته‌های کلیدی
Habibb,et al.(2025)	نقش همزاد دیجیتال در شهرهای هوشمند تاب‌آور در برابر زلزله‌های شدید	شناسایی شکاف‌های پذیرش و پیاده‌سازی همزاد دیجیتال در تاب‌آوری لرزه‌ای و تأکید بر ظرفیت تحول‌آفرین آن در ارتقای پایداری و تحقق اهداف توسعه پایدار
(Lin,et al.,2024)	شبیه‌سازی چندمقیاسی مدیریت اضطراری شهری با مطالعه انتقال اپیدمی	ارائه چارچوبی مبتنی بر پایگاه داده یکپارچه شهری و تعامل مستمر فضای واقعی و مجازی برای افزایش کارایی مدیریت اضطراری
Ariyachandra& (Wedawatta,2023)	مرور نظام‌مند همزاد دیجیتال در مدیریت چندمرحله‌ای ریسک بلایا	معرفی همزاد دیجیتال به‌عنوان فناوری امیدبخش مدیریت ریسک و تأکید بر پیچیدگی‌های فنی و فرایندی پیاده‌سازی آن
(Yu & He,2022)	پیشگیری و کاهش بحران در زیرساخت‌ها با همزاد دیجیتال هوشمند	تبیین کاربرد همزاد دیجیتال در مدیریت زیرساخت‌ها، مخاطرات اقلیمی و بلایای اجتماعی
(Fan, et al,2021)	ادغام هوش مصنوعی و هوش انسانی در مدیریت بلایا	تأکید بر همگرایی فناوری اطلاعات و ارتباطات با هوش مصنوعی و معرفی سنجش از دور، سنجش اجتماعی و جمع‌سپاری به‌عنوان منابع داده
(Mavrokapnidis,et al.2021),(Han,et al.,2020)	مدیریت پویایی جمعیت و تخلیه اضطراری در زیرساخت‌های باریک	استفاده از اتوماتای سلولی، بینایی رایانه‌ای و هدایت هوشمند برای کاهش زمان و افزایش کارایی تخلیه عابران
(Ford, et al,2020)	توسعه شهرهای هوشمند مبتنی بر همزاد دیجیتال برای مدیریت بلایا	ارائه مدل مفهومی یکپارچه برای شبیه‌سازی زیرساخت‌ها، تصمیم‌گیری و مدیریت بحران‌ها و بلایای اجتماعی

۲. چارچوب نظری

۲.۱. مدیریت بحران

افزایش فراوانی و مقیاس مخاطرات طبیعی از آغاز قرن بیست و یکم، ظرفیت زیرساخت‌های پیشگیری و مدیریت بحران را تضعیف و ضرورت پاسخ سریع و بازگشت جوامع به شرایط عادی را تشدید کرده است؛ از این رو، گذار از رویکردهای سنتی به مدیریت داده‌محور، پیش‌بینانه و هوشمند ضرورت یافته است (Novelo-Casanova et al., 2021؛ Goff, 2021). مفهوم بحران، با وجود ریشه تاریخی، طی دو سده اخیر عمدتاً مترادف فاجعه یا تهدید قریب‌الوقوع شده است (Tuor, 2011). بحران شهری نیز از دهه ۱۹۵۰ با عواملی چون مسکن نامناسب، ناکارآمدی خدمات، تضعیف منابع مالی و گسترش حومه‌ها پیوند یافت و مداخله دولتی راه‌حل اصلی آن تلقی شد (Tähtinen, 2024).

مدیریت بحران سه مرحله پیوسته کاهش خطر و پیشگیری، آمادگی و پاسخ و بازیابی، بازسازی و بازتوانی را دربرمی‌گیرد که برخلاف رویکردهای پیشین، مستقل از یکدیگر نیستند؛ بلکه پاسخ باید بازیابی، آمادگی آینده و کاهش ریسک‌های بعدی را تقویت کند (Pursiainen, Boin & McConnell, 2007). Montoya, 2002, 2017). مرحله پیش از بحران با ارزیابی ریسک، شناسایی آسیب‌پذیری و بهره‌گیری از تجارب گذشته، کاهش تلفات و خسارات را دنبال می‌کند (Montoya, 2002). سازمان مدیریت بحران کشور، ۱۴۰۰). آمادگی، ظرفیت واکنش جامعه و نهادها را ارتقا می‌دهد و پاسخ بر امداد رسانی، حفاظت از جان و مال و مهار پیامدهای ثانویه متمرکز است (Montoya, 2002؛ Estelaji et al., 2022). بازیابی نیز با تلفیق اقدامات کوتاه‌مدت و برنامه‌های توسعه‌ای بلندمدت، بازسازی جامعه، افزایش تاب‌آوری و کاهش ریسک آینده را هدف قرار می‌دهد (Montoya, 2002؛ Estelaji et al., 2022). National Disaster Management Organization of Iran, 2021).

۲.۲. همزاد دیجیتال شهری

۲.۲.۱. معماری چندلایه همزاد دیجیتال شهری: تجزیه و

تحلیل ساختار، ورودی‌ها، پردازش و خروجی‌ها

پیشرفت فناوری دیجیتال، ایده دیرینه بازنمایی سیستم‌های فیزیکی را به مدل‌سازی و شبیه‌سازی پیشرفته ارتقا داده و در مقیاس شهری، همزاد دیجیتال را به صورت بازنمایی مجازی، بلادرنگ و انطباق‌پذیر شهر شکل داده است (Goodchild et al., 2024). این فناوری با تلفیق داده، تحلیل و یادگیری ماشین، تعامل دوسویه میان محیط واقعی و مجازی و همکاری فناوری‌های شهر هوشمند را تقویت کرده و تحلیل همزمان محیط ساخته‌شده و فعالیت‌های انسانی را برای برنامه‌ریزی، مدیریت بحران و انتخاب راه‌حل‌های بهینه، به‌ویژه در کلانشهرها، امکان‌پذیر می‌سازد (Xu et al., García Luque et al., 2023؛ Haraguchi et al., 2023؛ Lei et al., 2023؛ al., 2024). (2024).

همزاد دیجیتال شهری بر مؤلفه‌های شهری، دیجیتال و همزاد استوار است و با وجود ظرفیت بازنمایی و تعامل بلادرنگ، با چالش‌هایی چون دسترسی به داده‌های لحظه‌ای، حجم بالای داده و نیاز محاسباتی مواجه است (Tomko & Winter, 2019؛ Xu et al., 2024). از این رو، گذار از مدل‌های صرفاً سه‌بعدی به مدل‌های تحلیلی تبیین‌کننده روابط علی سیاست‌ها، پیامدها و رفتار کاربران ضروری است (Russo et al., 2025). معماری این فناوری نیز ساختاری چندلایه دارد که صرف‌نظر از تفاوت تعداد لایه‌ها، بر اتصال دارایی‌های فیزیکی و دیجیتال از طریق حسگر، جریان داده و تحلیل استوار است (Hiller & Russell, 2017؛ Parrot & Warshaw, 2017). این معماری‌ها (جدول شماره ۲) از الگوهای سه‌لایه فیزیکی، سایبری و شناختی تا مدل‌های چهارلایه فیزیکی، داده، مدل و عملکرد و ساختارهای پنج‌لایه فیزیکی، مجازی، اتصالات، داده و خدمات متغیرند؛ در الگوهای سلسله‌مراتبی نیز جمع‌آوری، انتقال، مدل‌سازی، ادغام داده و ارائه خدمات، چرخه تعامل میان شهر واقعی و مجازی را تکمیل می‌کنند (Peldon et al., 2024).

جدول شماره ۲: ساختار و لایه بندی همزاد دیجیتال شهری

مدل	لایه ها	منطق و کارکرد معماری	منبع
۴ لایه	فیزیکی، داده، مدل، عملکرد	تبدیل تدریجی عناصر فیزیکی ملموس و ناملموس به داده، مدل و عملکردهای ارزش آفرین همزاد دیجیتال	Lv et al. (2022)
۳ لایه	فیزیکی، سایبری، شناختی	انتقال اطلاعات از اجزای فیزیکی به لایه شناختی برای تفسیر داده، بهبود تجربه کاربر و پشتیبانی از تصمیم گیری	Alva et al. (2022)
۵ لایه	فیزیکی، مجازی، اتصالات، داده، خدمات	تأکید بر ارتباط میان موجودیت های فیزیکی و مجازی، جریان داده و ارائه خدمات عملیاتی	Jiang et al. (2022)
۵ لایه	جمع آوری داده، انتقال، مدل سازی دیجیتال، ادغام داده/مدل، خدمات	گردآوری و انتقال داده های ناهمگن، ایجاد بازنمایی دیجیتال، یکپارچه سازی و پردازش داده و مدل و تعامل کاربران با سامانه	Lu et al. (2020)
۴ لایه	جمع آوری داده، مدل سازی داده، شبیه سازی، خدمات/عملگر	جمع آوری خودکار داده، حفظ همتای دیجیتال به روز، تحلیل و شبیه سازی و تکمیل حلقه بازخورد میان محیط مجازی و سیستم واقعی	Ferré-Bigorra et al. (2022)

همزاد دیجیتال شهری بر جریان اطلاعاتی حلقوی استوار است که در آن، مدل مجازی با داده های تاریخی، اطلاعات بلادرنگ حسگرها و مدل های ریاضی به طور مستمر کالیبره می شود و شبیه سازی سناریوها و تصمیم گیری آگاهانه را ممکن می سازد (van der Velden, 2022). این داده ها با شبیه سازی عددی، تحلیل منطقی، یادگیری ماشین و رایانش ابری پردازش شده و نتایج از طریق داشبوردها، مدل های سه بعدی، واقعیت مجازی و افزوده یا محرک های کنترلی به سیستم واقعی باز می گردند (Ferré-Bigorra et al., 2022). ورودی ها، فرایندهای پردازشی و خروجی های این سامانه در جدول شماره ۳ جمع بندی شده اند.

۲.۲.۲. پیاده سازی همزادهای دیجیتال شهری در ایران

پیاده سازی همزاد دیجیتال شهری در کشورهای در حال توسعه (از جمله ایران) به زیرساخت دیجیتال و شهری مناسب، چارچوب حقوقی و سیاستی شفاف، ظرفیت فناورانه و پذیرش سازمانی وابسته است (Zali et al., 2024). یکپارچه سازی داده ها و سامانه های شهری، تحلیل بلادرنگ و شبیه سازی پویای های شهر را تقویت می کند؛ درحالی که گسست داده ای و ناهماهنگی نهادی می تواند ناکارآمدی مدیریتی، نابرابری فضایی و آسیب پذیری در برابر بلایا را افزایش دهد. از این رو، ارتباطات پرسرعت، داده های مکانی باکیفیت و فناوری هایی مانند G5 برای مدل سازی بلادرنگ ضرورند؛ تجربه سنگاپور نیز اهمیت زیرساخت دیجیتال قدرتمند را تأیید می کند (Batty et al., 2012; Singapore Urban Redevelopment Authority, 2019).

این فناوری همچنین به حکمرانی شفاف داده، تعیین مالکیت، حفاظت از حریم خصوصی و امنیت سایبری نیاز دارد؛ الزاماتی که در ایران به دلیل خلأهای حقوقی، شرایط ژئوپلیتیکی و تحریم ها پیچیده تر شده و می تواند اعتماد عمومی، نوآوری و سرمایه گذاری را تضعیف کند (Hielkema & Hongisto, 2013; Laudati, 2023). بهره برداری از همگرایی هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، رایانش ابری و شبیه سازی نیز به بلوغ دیجیتال، منابع مالی، مهارت های میان رشته ای، فرهنگ نهادی و مشارکت بخش خصوصی وابسته است (Kitchin, 2014; Calzati & van Loenen, 2023). مشارکت عمومی—خصوصی و همکاری با دانشگاه ها، مراکز تحقیق و توسعه و پارک های علم و فناوری می تواند کمبود منابع، شکاف مهارتی و موانع نهادی را کاهش دهد (Zali et al., 2024).

۳.۲.۳. معماری همزاد دیجیتال در مدیریت بحران شهری: ویژگی ها، مدل مفهومی و الزامات داده ای

معماری همزاد دیجیتال در مدیریت بحران بر الزامات تخصصی، مدل جامع همزاد و داده های عملیاتی استوار است (جدول شماره ۴) و با ارائه تصویری جامع از جامعه، شامل دارایی ها، تعاملات و آسیب پذیری زیرساخت ها، از تصمیم گیری پیش بینانه پشتیبانی می کند (جدول شماره ۴؛ Ford & Wolf, 2020). شبیه سازی با داده های به روز، وضعیت زیرساخت های حیاتی و بحران های پیچیده را پیش بینی کرده و انتخاب راهبردهای بهینه را هدایت می کند؛ در زیرساخت های فیزیکی نیز عمده تاً بر مدل سازی اطلاعات ساختمان و شهر متکی است (Singh et al., 2021; Yang Kim, 2021).

این معماری از پیچیدگی چندمقیاسی شهرها، تعامل فرایندهای بالابنه‌پایین و پایین‌به‌بالا و حجم عظیم داده‌های حسگرها و اینترنت اشیا ناشی شده و بر همگرایی سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و شهر در قالب مدل‌های سه‌بعدی یکپارچه استوار است (Sánchez-Vaquerizo, 2025). ادغام جامعه، زیرساخت‌ها، مؤلفه‌های شهر هوشمند و رویدادهای بحرانی، سرعت پاسخ و کارایی مدیریت اضطراری را افزایش می‌دهد (Bansal et al., 2017).

(Ford & Wolf, 2020). در این چارچوب، داده‌های حسگرمحور هم ورودی شبیه‌سازی و هم مبنای خروجی‌های تصمیم‌سازند و با همگام‌سازی منابع خارجی، پیش‌بینی وضعیت آینده جامعه و زیرساخت‌ها را بر پایه شرایط جاری و تصمیمات مدیریتی ممکن می‌سازند؛ بنابراین، خروجی‌ها به بازنمایی گرافیکی محدود نیستند (Krylov, 2025؛ Ford & Wolf, 2020:5-7).

جدول شماره ۳: تحلیل ورودی، پردازش و خروجی همزاد دیجیتال شهری

بخش اصلی	دسته‌بندی	عناصر کلیدی	عملکرد
ورودی‌ها	منابع داده‌ای	داده‌های تاریخی و بلادرنگ حسگرها	داده‌های تاریخی برای آموزش الگوریتم‌های یادگیری ماشین و پیش‌بینی و داده‌های بلادرنگ برای کالیبراسیون مستمر همزاد و انطباق آن با وضعیت واقعی به کار می‌روند.
	مدل‌ها	مدل‌های ریاضی	رفتار و فرایندهای موجودیت‌های فیزیکی را توصیف و مبنای تحلیل و شبیه‌سازی قرار می‌دهند.
پردازش	عملیات محاسباتی	شبیه‌سازی عددی، عملیات منطقی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین	سناریوها و پدیده‌هایی مانند جریان هوا و آلودگی را شبیه‌سازی، مقادیر بحرانی را شناسایی و وضعیت آینده را پیش‌بینی می‌کنند.
	منابع محاسباتی	رایانش ابری	توان محاسباتی و ذخیره‌سازی لازم برای پردازش داده‌های حجیم و اجرای مدل‌های پیچیده را فراهم می‌کند.
خروجی‌ها	رابطه‌های کاربری	داشبورد، مدل سه‌بعدی، واقعیت مجازی و افزوده	امکان پایش، کنترل و تجسم وضعیت همزاد دیجیتال را برای کاربران و تصمیم‌گیرندگان فراهم می‌سازد.
	محرک‌ها	کنترل مستقیم زیرساخت‌ها و ارسال درخواست به عامل اجرایی	نتایج تحلیلی را به اقدامات مستقیم یا غیرمستقیم در سیستم فیزیکی تبدیل کرده و حلقه تعامل میان شهر واقعی و همزاد دیجیتال را تکمیل می‌کند.

جدول شماره ۴: معماری همزادهای دیجیتال شهری برای مدیریت بحران

بخش‌های اصلی	زیرمجموعه	توضیحات و کارکردها
۱. ویژگی‌های مورد نیاز	تصاویر جامعه	بازنمایی افراد، دارایی‌ها، اجزای جامعه، تعاملات و وضعیت آسیب‌ها از طریق نقشه‌های بصری و فهرست دارایی‌ها، با هدف افزایش ارزش اطلاعاتی داده‌ها در مدیریت بحران
	شبیه‌سازی	استفاده از مدل‌های رایانه‌ای برای پیش‌بینی وضعیت زیرساخت‌های حیاتی و ارزیابی راه‌حل‌ها و راهبردهای مدیریتی
۲. مدل دوقلوی دیجیتال	مؤلفه‌های جامعه، شهر هوشمند و همزاد دیجیتال	ادغام شرایط جامعه و درس‌های حاصل از شبیه‌سازی با قابلیت‌های پاسخ سریع شهر هوشمند و ابزارهای شبیه‌سازی و پیش‌بینی همزاد دیجیتال برای کاهش خسارات
	هدف مدل	تولید بینش تصمیم‌ساز برای مدیران و رهبران جامعه در مراحل حین و پس از بحران
	مدل‌سازی	یکپارچه‌سازی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و شهر با سیستم اطلاعات جغرافیایی برای پایش و مدیریت زیرساخت‌ها
۳. داده‌ها	جمع‌آوری داده	دریافت داده از حسگرهای شهری و منابع خارجی برای تغذیه شبیه‌سازی‌ها و اطلاع‌رسانی به مدیران و شهروندان
	ارائه داده‌ها	انتقال نتایج در قالب‌های گرافیکی و غیرگرافیکی متناسب با نیاز کاربران
	کاربرد داده‌ها	تولید تصاویر دیجیتال از زیرساخت‌ها و تعاملات آنها و پیش‌بینی وضعیت آینده جامعه بر پایه شرایط جاری و تصمیمات مدیریتی

۳.۲.۴. پتانسیل‌های همزادهای دیجیتال شهری در مدیریت بحران‌های شهری

همزاد دیجیتال شهری با تلفیق تجسم داده، شبیه‌سازی پیشرفته و مشارکت ذی‌نفعان، چارچوبی یکپارچه برای ارتقای تاب‌آوری و توسعه پایدار در چرخه مدیریت بحران فراهم می‌کند (جدول شماره ۵).^۵ تجسم داده‌های زیرساختی و حسگرمحور، تجسم سه‌بعدی و به‌روزرسانی بلادرنگ، آگاهی موقعیتی، اطلاع‌رسانی و تصمیم‌گیری در مراحل پاسخ و بازیابی را بهبود می‌بخشد (Ford & Wolf, 2020; Lei et al., 2023; Macatulada & Biljeckia, 2024; Wortley, 2024).

جدول شماره ۵: فرصت‌ها و پتانسیل‌های همزاد‌های دیجیتال در مدیریت بحران‌های شهری

منابع	پتانسیل‌ها و قابلیت‌های همزاد دیجیتال شهری	حوزه کلیدی
Macatulada & Biljeckia, 2024; Ford & Wolf, 2020; Lei et al., 2023; Wortley, 2024; Haraguchi et al., 2024	ایجاد مرکز یکپارچه داده و شبیه‌سازی برای تجسم داده‌های کلان، تاریخی، حسگرمحور و زیرساختی؛ انتقال تقریباً بلادرنگ اطلاعات؛ تجسم سه‌بعدی خطرات؛ ارتقای آگاهی موقعیتی، آموزش ریسک و درک مقامات و جوامع و ارائه تصویری کاربردی از تعامل زیرساخت‌های فیزیکی و اجتماعی شهر	۱. داده، آگاهی و تجسم سه‌بعدی شهر
Macatulada & Biljeckia, 2024; Wortley, 2024; Ford & Wolf, 2020; Madubuike et al., 2022	شبیه‌سازی خطر، آسیب‌پذیری، ظرفیت مقابله و تعاملات علی سیستم‌های شهری؛ پیش‌بینی بلایا و خرابی زیرساخت‌ها؛ سنجش پیامدهای تصمیمات مدیریتی؛ و آزمایش سریع و کم‌هزینه راهبردهای کاهش خطر، آمادگی، پاسخ و بازیابی بر پایه داده‌های تاریخی و بلادرنگ	۲. شبیه‌سازی و پیش‌بینی‌پذیری
Macatulada & Biljeckia, 2024; Haraguchi et al., 2024; Wortley, 2024	تسهیل برنامه‌ریزی مشارکتی و هماهنگی ذی‌نفعان؛ پشتیبانی از سیاست‌گذاری و مدل‌های مشارکتی مدیریت ریسک؛ توانمندسازی جامعه و تقویت حس مالکیت؛ تحلیل مستمر راه‌حل‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت؛ و اولویت‌بندی راهبردهای تاب‌آوری و توسعه پایدار بر پایه تحلیل کلان‌داده و بهبود مداوم مدل‌ها	۳. همکاری، سیاست‌گذاری و تاب‌آوری

گسترش مبانی نظری، چارچوب‌های کاربردی نقش همزاد دیجیتال را در مراحل کاهش خطر، آمادگی، پاسخ و بازیابی توسعه می‌دهد. این مطالعه با تحلیل داده‌های کیفی و رویکردی طولی، در پی تبیین نقش این فناوری در پشتیبانی از تصمیم‌گیری هوشمند و کاهش خسارات جانی و مالی بحران‌های شهری است.

در همین راستا و برای بررسی این موضوع، فرآیند جمع‌آوری اطلاعات با در نظر گرفتن کلیدواژه‌های اصلی "مدیریت بحران"، مدیریت مخاطرات^۳، سیستم‌های همزاد دیجیتال، همزاد دیجیتال شهری، شهر همزاد دیجیتال^۴ و همزاد دیجیتال شهر هوشمند^۴ آغاز می‌شود. منابع اطلاعاتی پژوهش شامل مقالات استخراج شده از پایگاه‌های معتبر بین‌المللی نظیر گوگل اسکولار، وب آو ساینس، ساینس دایرکت و اسکوپوس است.

پس از بررسی‌های صورت گرفته در زمینه همزادهای دیجیتال شهری برای مدیریت بحران‌ها، حال می‌توان مدل مفهومی این سیستم‌ها را بر اساس معیارهایی که مورد بررسی قرار گرفت، شکل داد. ساختار این مدل مفهومی از مؤلفه‌هایی چون معماری و بنیان، ورودی و خروجی، ویژگی‌ها و مدل‌سازی تشکیل شده است. این مدل مفهومی در تصویر شماره یک قابل مشاهده است.

۴. روش پژوهش

پژوهش حاضر با رویکردی کیفی، تفسیرگرا و از نوع مرور مفهومی، به تحلیل مفاهیم، نظریه‌ها و ساختارهای همزاد دیجیتال شهری در مدیریت بحران بر پایه منابع معتبر بین‌المللی می‌پردازد. استدلال پژوهش قیاسی و ماهیت آن بنیادی-توسعه‌ای است؛ زیرا ضمن تبیین روابط مفهومی و

³ Digital Twin City

⁴ Smart City Digital Twin

¹ Crisis Management

² Disaster Management

مرور ادبیات، پراکندگی رویکردها و ماهیت چندرشته‌ای این حوزه را نشان می‌دهد؛ به‌گونه‌ای که مطالعات عمدتاً میان دو جریان فلسفی_اخلاقی_حاکمیتی و کاربردهای مهندسی و مدیریت شهری تقسیم می‌شوند. از منظر جغرافیایی، آسیا، به‌ویژه چین و سنگاپور بر کارایی عملیاتی و مدیریت بلادرنگ بحران‌های بزرگ‌مقیاس، اروپا بر استانداردسازی، حکمرانی داده و تعامل‌پذیری و قاره آمریکا بر مدل‌سازی و کاهش مخاطرات طبیعی پیچیده تمرکز دارد.

۵. بحث و یافته های پژوهش

۵.۱. نقش همزاد دیجیتال در فرایند مدیریت هوشمند بحران‌های شهری

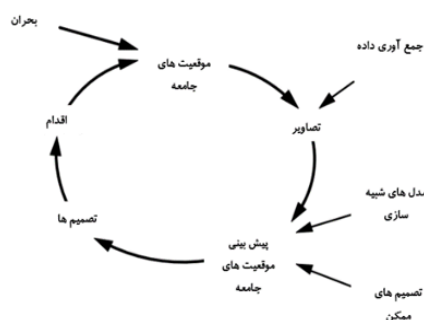
همزاد دیجیتال شهری با تلفیق داده‌های تاریخی و بلادرنگ حسگرها، سامانه‌های ترافیکی، تراکم جمعیت و تصاویر ماهواره‌ای، تحلیل و پیش‌بینی بحران را در سراسر چرخه مدیریت (تصویر شماره ۳) آن ممکن می‌سازد (Brucherseifer et al., 2021; Korada, 2022). مزیت اصلی آن در شبیه‌سازی پیش‌بینانه و آزمون کم‌هزینه سناریوهاست که شناسایی نواحی آسیب‌پذیر، تخصیص منابع و طراحی مسیرهای ایمن تخلیه را بهبود می‌دهد و آن را به ابزار فعال پشتیبانی تصمیم تبدیل می‌کند (Galea Pace, 2020; Hämmäläinen, 2021).

پیش از بحران، این فناوری با شبیه‌سازی فضایی، تحلیل آسیب‌پذیری، هشدار زودهنگام و ادغام هوش مصنوعی و اینترنت اشیا، کاهش خطر، آمادگی، آموزش و تصمیم‌گیری تعاملی را تقویت می‌کند (Comes, 2024; Hartmann et al., 2023; Cheng et al., 2023). حین بحران، تحلیل داده‌های حسگری، رسانه‌های اجتماعی و تصاویر پهپادی و ماهواره‌ای، ارزیابی سریع خسارت، اولویت‌بندی امداد و تخصیص منابع را بهبود می‌بخشد (Cheng et al., 2023). پس از بحران نیز تجمیع داده‌های میدانی و بلادرنگ، ارزیابی خسارت و ضعف‌های مدیریتی، اولویت‌بندی بازسازی و پیش‌بینی مخاطرات ثانویه را ممکن ساخته و از طریق آزمون سناریوهای «چه می‌شود اگر» و اشتراک اطلاعات، یادگیری نهادی، هماهنگی بین‌بخشی و تاب‌آوری را ارتقا می‌دهد (Hartmann et al., 2023; Lagap & Ghaffarian, 2024; Cheng et al., 2023).

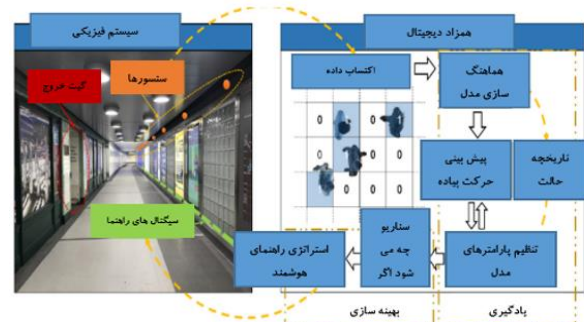
۵.۲. بررسی موردی بحران‌ها و تطبیق نقش همزادهای دیجیتال در مدیریت آنها

در بحران‌های انسان‌ساخت، همزاد دیجیتال در حوادث صنعتی با پایش بلادرنگ تأسیسات، پیش‌بینی خرابی تجهیزات و شبیه‌سازی انتشار و مهار مواد خطرناک، از تشدید بحران جلوگیری می‌کند؛ در امنیت شهری نیز با شبیه‌سازی تخلیه و واکنش به تهدیدها، آمادگی را افزایش می‌دهد، هرچند وابستگی به داده‌های حجیم و شبکه‌های ارتباطی از محدودیت‌های آن است (Astarita et al., 2024). در فضاهای زیرزمینی (تصویر شماره ۴) و پرتراکم، اتصال حسگرهای محیطی و جمعیتی به اینترنت اشیا و شبیه‌سازی پویایی جمعیت، شناسایی گلوگاه‌ها و بهینه‌سازی تخلیه را ممکن می‌سازد (Han et al., 2020; Astarita et al., 2024). در بحران‌های اجتماعی (تصویر شماره ۵) نیز تلفیق شبیه‌سازی زیرساخت‌ها، پیش‌بینی وضعیت و پشتیبانی تصمیم، چارچوبی یکپارچه برای مدیریت بحران فراهم می‌کند (Ford & Wolf, 2020).

در بحران‌های طبیعی، همزاد دیجیتال در سیلاب با تلفیق داده‌های تاریخی، هیدرولوژیکی و بلادرنگ، پهنه‌های پرخطر را پیش‌بینی و طراحی زیرساخت مقاوم، تخصیص منابع و تخلیه را بهینه می‌کند (Astarita et al., 2024). در زلزله، مدل‌های سلبعدی و شبیه‌سازی بلادرنگ، شدت و خسارت لرزه‌ای را ارزیابی کرده و مقاوم‌سازی، تخلیه، هدایت عملیات نجات و استقرار خدمات اضطراری را پشتیبانی می‌کنند (Astarita et al., 2024). در آتش‌سوزی نیز شبیه‌سازی پیش‌بینانه، اشتراک اطلاعات، بهینه‌سازی مسیر خودروهای امدادی و مدل‌سازی واکنش بر پایه داده‌های ساختمانی، آمادگی و کنترل بحران را تقویت می‌کند (Yang Kim, 2021:370). جدول شماره ۶، این نقش‌ها را به صورت تطبیقی جمع‌بندی می‌کند.



تصویر شماره ۴: نمونه از کاربرد همزادهای دیجیتال برای مدیریت بحران‌های اجتماعی (منبع: Ford & Wolf, 2020)



تصویر شماره ۳: نمونه ای از استفاده همزاد های دیجیتال برای تخلیه سریع در مواقع بحرانی (منبع: Han, et al., 2020)



تصویر شماره ۵: نقش همزاد دیجیتال در فرآیند مدیریت هوشمند بحران‌های شهری

جدول شماره ۶: انواع بحران‌های طبیعی و انسان ساخت و نقش همزادهای دیجیتال در مدیریت و کنترل آن‌ها

منشأ بحران	نوع بحران	نقش همزاد های دیجیتال در مدیریت بحران	توضیحات
بحران های انسان ساخت	صنعتی	پایش، پیش‌بینی و مدل‌سازی	پایش سلامت تأسیسات، پیش‌بینی خرابی و مدل‌سازی انتشار و مهار مواد خطرناک
	امنیت شهری	شبیه‌سازی و مدیریت داده	شبیه‌سازی تخلیه و واکنش به تهدیدها و پردازش بلادرنگ داده برای تصمیم‌گیری
	ازدحام جمعیت	شبیه‌سازی و مدیریت تخلیه	پایش جمعیت، شناسایی گلوگاه‌ها و بهینه‌سازی مسیرهای خروج
	اجتماعی	پیش‌بینی و تصمیم‌گیری	تحلیل شرایط اجتماعی، پیش‌بینی بحران و پشتیبانی از کنترل و مداخله
بحران طبیعی	سیلاب	پیش‌بینی، برنامه‌ریزی و تخلیه	شبیه‌سازی سیلاب، تعیین پهنه‌های پرخطر، طراحی زیرساخت مقاوم و بهینه‌سازی تخلیه
	زلزله	پایش، ارزیابی خسارت و امداد	پیش‌بینی آثار لرزه‌ای، ارزیابی و تجسم خسارت و هدایت امداد و تخلیه
	آتش سوزی	شبیه‌سازی و پاسخ عملیاتی	شبیه‌سازی واکنش، اشتراک اطلاعات و بهینه‌سازی مسیر خودروهای آتش‌نشانی

۵.۳. چالش‌های همزاد دیجیتال شهری در مدیریت بحران

همزاد دیجیتال شهری، با وجود ظرفیت بالای خود در شبیه‌سازی مخاطرات و پشتیبانی از تصمیم‌گیری، با چالش‌های فنی، نهادی، اجتماعی و معرفت‌شناختی مواجه است (Eri & Elnæs, 2023). کیفیت پایین، ناهمگنی، نویز و خطاهای داده‌های حسگری و جمع‌سپاری می‌تواند ارزیابی آسیب‌پذیری و طراحی سناریوهای امداد و تخلیه را مخدوش سازد؛ همچنین، فقدان استانداردهای جامع و ناسازگاری با چارچوب‌هایی مانند CityGML، سیلوهای اطلاعاتی و کاهش اعتبار شبیه‌سازی‌ها را در پی دارد (Hristov et al., 2022; Mazzetto, 2024).

پردازش داده‌های حجیم بلادرنگ، همراه با الزامات امنیت و حریم خصوصی، به معماری‌های پیشرفته‌ای مانند رایانش لبه‌ای و مه‌نیاز دارد؛ زیرا اشباع حسگرها و شبکه‌ها در شرایط بحران می‌تواند عملکرد سامانه را مختل کند (Mazzetto, 2024). افزون بر این، ضعف یکپارچگی میان مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی، محدودیت اعتبار مدل‌ها در سناریوهای غیرمنتظره و ناتوانی در بازنمایی پویایی‌های فضایی-اجتماعی، اعتماد به خروجی‌ها را کاهش می‌دهد (Weil et al., 2023). شکاف میان بازنمایی بلادرنگ ادعایی و مدل‌های ایستا و ناقص نیز ظرفیت پیش‌بینی و تصمیم‌گیری به‌موقع را محدود می‌کند (White et al., 2021; Masoumi et al., 2023).

در سطح حکمرانی، فقدان قواعد شفاف داده، ناهماهنگی نهادی، ضعف مشارکت و خطر بازتولید نابرابری‌های فضایی-اجتماعی، ضرورت گذار به اکوسیستمی چندسطحی، مشارکتی و عدالت‌محور را نشان می‌دهد (Cardullo & Kitchin, 2019; Kitchin, 2014; Haraguchi et al., 2022; Chen et al., 2025; De & Swerts, 2026; Charitonidou, 2022). بنابراین تحقق همزاد دیجیتال در

مدیریت بحران زلزله صرفاً مسئله‌ای فناورانه نیست بلکه مستلزم یکپارچگی فناوری، حکمرانی شهری و عدالت فضایی برای تبدیل آن به ابزاری مؤثر در کاهش ریسک و ارتقای تاب‌آوری است.

۵.۴. تحلیل تطبیقی نقش همزاد دیجیتال شهری در

مدیریت بحران‌های طبیعی و انسان‌ساخت

همزاد دیجیتال شهری با عبور از پایش صرف به شبیه‌سازی و آزمون پیشینی سناریوها، مدیریت بحران را از رویکردی واکنشی به سامانه‌ای پیشگیرانه تبدیل کرده و تخصیص منابع، تخلیه و بازنگری پروتکل‌های اضطراری را در کل چرخه بحران بهبود می‌دهد (Cheng et al., 2023). پیش از بحران، تحلیل داده‌های تاریخی و بلادرنگ، هوش مصنوعی و شبیه‌سازی، شناسایی آسیب‌پذیری‌ها، هشدار زودهنگام و آموزش نیروها و شهروندان را تقویت می‌کند (Cheng et al., 2023). حین بحران، تلفیق داده‌های اینترنت اشیاء، پهپاد، تصاویر ماهواره‌ای و سنجش اجتماعی، ارزیابی خسارت، اولویت‌بندی مداخلات، تخصیص منابع و تخلیه ایمن را تسهیل می‌کند (Astarita et al., 2024). پس از بحران نیز تحلیل الگوهای تخریب، هماهنگی ذی‌نفعان، اولویت‌بندی بازسازی، پیش‌بینی مخاطرات ثانویه و اصلاح راهبردها، یادگیری سیستمی و بازتوانی تاب‌آور را پشتیبانی می‌کند (Cheng et al., 2023; Lagap & Ghaffarian, 2024).

با این حال کلان‌داده، پردازش بلادرنگ، وابستگی ارتباطی و آسیب‌پذیری شبکه‌ها، اثربخشی این فناوری را به زیرساخت تاب‌آور و حکمرانی کارآمد داده وابسته می‌سازد (Astarita et al., 2024). در مجموع همزاد دیجیتال با کارکردی مشترک در بحران‌های طبیعی و انسان‌ساخت، مدیریت بحران را به سامانه‌ای پیش‌نگر، تطبیقی و یادگیرنده ارتقا داده و کاهش تلفات و افزایش تاب‌آوری شهری را تسهیل می‌کند.

جدول شماره ۷: طبقه بندی جامع چالش‌های همزاد دیجیتال در مدیریت بحران

چالش	پیامدها	راه‌حل‌های پیشنهادی
چالش‌های مرتبط با حوزه داده	کیفیت داده‌ها	نویز، مقادیر گم‌شده و خطاهای داده‌های حسگری و جمع‌سپاری، موجب برآورد نادرست آسیب‌پذیری و طراحی ناکارآمد سناریوهای تخلیه و امداد می‌شود.
	فقدان استانداردهای داده‌ای	ناسازگاری با چارچوب‌هایی مانند CityGML، سیلوهای اطلاعاتی و گسست در یکپارچگی داده‌ها را ایجاد می‌کند.
	داده و زیرساخت	حجم بالای داده‌های بلادرنگ و اشباع حسگرها، سرعت پردازش و کارایی شبکه را در شرایط بحران کاهش می‌دهد.
	امنیت و حریم خصوصی	خطر افشای داده‌های زیرساختی و جمعیتی، اعتماد عمومی و اشتراک‌گذاری اطلاعات را تضعیف می‌کند.
	ضعف حکمرانی داده	نبود سیاست‌های هماهنگ و ساختارهای مشارکتی، هماهنگی سازمانی و تصمیم‌گیری سریع را مختل می‌کند.
چالش‌های سیستمی و مدل‌سازی	عدم یکپارچگی سیستم‌ها	گسست میان مدل‌های ساختمانی و جغرافیایی، تحلیل آسیب‌پذیری و مدل‌سازی یکپارچه شهر را محدود می‌کند.
	شکاف بازنمایی و واقعیت	مدل‌های ایستا و مقطعی قادر به بازنمایی پویایی‌های فضایی-اجتماعی و پیش‌بینی بحران‌های پیچیده نیستند.
چالش‌های سازمانی	مقاومت سازمانی	مقاومت در برابر فناوری و نگرانی از دسترسی به اطلاعات حساس، پذیرش و همکاری نهادی را کاهش می‌دهد.
		توسعه رایانش لبه‌ای و ارتقای ظرفیت‌های پردازشی و ارتباطی
		استفاده از سازوکارهای امنیتی مانند بلاک‌چین و تنظیم تعادل میان اشتراک داده و حریم خصوصی
		ایجاد حکمرانی شفاف و مشارکتی و تقویت ارتباطات بین‌سازمانی
		توسعه روابط میان‌سامانه‌ای و ارتقای قابلیت ادغام مدلسازی اطلاعات ساختمان و سیستم اطلاعات جغرافیایی
		توسعه مدل‌های پویا و مشارکتی و ادغام دانش تجربی ساکنان
		تقویت فرهنگ اعتماد، یادگیری سازمانی و اشتراک‌گذاری مسئولانه داده‌ها

جدول شماره ۸: تحلیل تطبیقی نقش همزادهای دیجیتال شهری در مدیریت بحران های طبیعی و انسان ساخت

منابع کلیدی	نقش در مدیریت بحران های طبیعی	کاربرد در مدیریت بحران های انسان ساخت	چالش های کلیدی اجرای همزاد دیجیتال در این فاز	کارکرد اصلی همزاد دیجیتال	فاز مدیریت بحران
(Hartmann et al., 2023) / (Cheng et al., 2023)	سیل: شبیه سازی الگوهای هیدرولوژیکی و بارش های حدی برای طراحی زیرساخت مقاوم؛ زلزله: شناسایی سازه های آسیب پذیر و پیش بینی مقیاس بحران با هوش مصنوعی	صنعتی: شبیه سازی نشت مواد شیمیایی و انفجار برای طراحی پروتکل های ایمنی و مهار؛ امنیت شهری: شبیه سازی تهدیدات تروریستی و تخلیه ساختمان ها	دشواری بازنمایی پویایی سیستم های پیچیده و رفتار انسانی؛ نیاز به داده های تاریخی، زمین شناختی و کالبدی دقیق برای کالیبراسیون	شبیه سازی پیش بینانه، شناسایی آسیب پذیری و آموزش مجازی	کاهش خطر و سوانح (پیش از بحران)
(Brucherseifer et al., 2021) / (Astarita et al., 2024)	سیل: پایش سطح آب، ترافیک و جمعیت برای تعیین مسیرهای ایمن تخلیه؛ زلزله: تحلیل تصاویر ماهواره ای و پهبادی با یادگیری ماشین برای ارزیابی خسارت و هدایت امداد	صنعتی: مدل سازی لحظه ای انتشار آلاینده ها و تعیین مناطق امن؛ ازدحام جمعیت: پایش پویایی جمعیت و بهینه سازی مسیرهای خروج اضطراری	وابستگی به برق و شبکه های ارتباطی؛ ضرورت پردازش سریع حجم عظیم داده های حسگری، تصویری و اجتماعی	پایش بلادرنگ، تلفیق داده، ارزیابی سریع خسارت و تخصیص بهینه منابع	آمادگی و پاسخ (حین بحران)
(Lagap & Ghaffarian, 2024) / (Cheng et al., 2023)	سیل و زلزله: اولویت بندی بازسازی زیرساخت های حیاتی و پیش بینی مخاطرات ثانویه مانند آتش سوزی پس از زلزله	صنعتی: برآورد خسارات زیست محیطی و اقتصادی، تحلیل ضعف های واکنش و بهبود همکاری میان دولت و ذی نفعان	عدم قطعیت در مدل سازی بازایی اجتماعی و اقتصادی؛ فقدان استانداردهای مشترک برای جمع آوری و تبادل داده های خسارت و آسیب پذیری	ارزیابی جامع خسارت، تصمیم گیری راهبردی و بهبود مستمر نظام واکنش	بازسازی و باز توانی (پس از بحران)

چارچوب های حقوقی شفاف برای مالکیت و تبادل داده است. همچنین هماهنگی میان شهرداری ها، سازمان های مدیریت بحران، نهادهای زیرساختی و شرکت های فناوری، همراه با توسعه شبکه های ارتباطی تاب آور و معماری های غیرمتمرکز و آفلاین، برای تداوم عملکرد سامانه در شرایط بحران ضروری است.

بومی سازی همزاد دیجیتال متناسب با ویژگی های فضایی، اجتماعی و نهادی شهرها، اجرای پروژه های آزمایشی، ارتقای کیفیت داده با هوش مصنوعی، آموزش تخصصی و مشارکت شهروندان نیز می تواند پذیرش و اثربخشی آن را افزایش دهد. در صورت تحقق این الزامات، همزاد دیجیتال شهری می تواند به بستری هوشمند برای فرماندهی بحران و گذار به مدیریت شهری پیش نگر، داده محور و تاب آور تبدیل شود.

۶. نتیجه گیری

همزاد دیجیتال شهری با تلفیق داده های بلادرنگ، شبیه سازی و تحلیل پیش بینانه، ظرفیت بالایی برای شناسایی آسیب پذیری ها، بهینه سازی تخلیه، تخصیص منابع و تسریع واکنش در بحران دارد. با این حال کیفیت پایین داده، فقدان استانداردهای مشترک، سیل های اطلاعاتی، هزینه های پردازش و ذخیره سازی، تهدیدهای سایبری، مسائل حریم خصوصی و مقاومت سازمانی، بهره برداری مؤثر از آن را محدود می کنند.

رفع این موانع مستلزم توسعه استانداردهای داده ای و تعامل پذیری، زیرساخت های محاسباتی و ارتباطی پیشرفته، رایانش ابری و لبه، سازوکارهای امنیت و کنترل دسترسی و

شکل شماره ۵. راهکارهای پیشنهادی به منظور حداکثر رساندن اثربخشی همزاد دیجیتال شهری در فرآیند مدیریت بحران



References

- Al-Sehrawy, R., Kumar, B., & Watson, R. (2021). A digital twin uses classification system for urban planning and city infrastructure management. *Journal of Information Technology in Construction*, 26, 832–862. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.045>
- Alva, P., Biljecki, F., & Stouffs, R. (2022). Use cases for district-scale urban digital twins. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-4/W4-2022, 5–12. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W4-2022-5-2022>
- Argota Sánchez-Vaquerizo, J. (2025). Urban digital twins and metaverses towards city multiplicities: Uniting or dividing urban experiences? *Ethics and Information Technology*, 27(1), Article 4. <https://doi.org/10.1007/s10676-024-09812-3>
- Ariyachandra, M. M. F., & Wedawatta, G. (2023). Digital twin smart cities for disaster risk management: A review of evolving concepts [Retracted article]. *Sustainability*, 15(15), Article 11910. <https://doi.org/10.3390/su151511910>
- Astarita, V., Guido, G., Haghshenas, S. S., & Haghshenas, S. S. (2024). Risk reduction in transportation systems: The role of digital twins according to a bibliometric-based literature review. *Sustainability*, 16(8), Article 3212. <https://doi.org/10.3390/su16083212>
- Bansal, N., Mukherjee, M., & Gairola, A. (2017). Smart cities and disaster resilience. In F. Seta, J. Sen, A. Biswas, & A. Khare (Eds.), *From poverty, inequality to smart city* (pp. 109–122). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2141-1_8
- Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., Ouzounis, G., & Portugali, Y. (2012). Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, 214(1), 481–518. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01703-3>
- Beall, J., & Fox, S. (2009). *Cities and development*. Routledge.
- Boin, A., & McConnell, A. (2007). Preparing for critical infrastructure breakdowns: The limits of crisis management and the need for resilience. *Journal of Contingencies and Crisis Management*,

- 15(1), 50–59. <https://doi.org/10.1111/j.1468-5973.2007.00504.x>
- Brucherseifer, E., Winter, H., Mentges, A., Mühlhäuser, M., & Hellmann, M. (2021). Digital twin conceptual framework for improving critical infrastructure resilience. *at-Automatisierungstechnik*, 69(12), 1062–1080. <https://doi.org/10.1515/auto-2021-0104>
 - Calzati, S., & van Loenen, B. (2023). Towards a citizen- and citizenry-centric digitalization of the urban environment: Urban digital twinning as commoning. *Digital Society*, 2(3), Article 38. <https://doi.org/10.1007/s44206-023-00064-0>
 - Cardullo, P., & Kitchin, R. (2019). Being a “citizen” in the smart city: Up and down the scaffold of smart citizen participation in Dublin, Ireland. *GeoJournal*, 84(1), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s10708-018-9845-8>
 - Charitonidou, M. (2022). Urban-scale digital twins in data-driven society: Challenging digital universalism in urban planning decision-making. *International Journal of Architectural Computing*, 20(2), 238–253. <https://doi.org/10.1177/14780771211070005>
 - Chen, C.-Y., Sun, E. W., & Lin, Y.-B. (2025). Reconciling spatiotemporal conjunction with digital twin for sequential travel time prediction and intelligent routing. *Annals of Operations Research*, 348(1), 671–716. <https://doi.org/10.1007/s10479-024-05990-x>
 - Cheng, R., Hou, L., & Xu, S. (2023). A review of digital twin applications in civil and infrastructure emergency management. *Buildings*, 13(5), Article 1143. <https://doi.org/10.3390/buildings13051143>
 - De Jaeger, A., & Swerts, T. (2026). Right to the digital twin city? Citizen participation and limits-by-design in Rotterdam’s urban digital twin. *Cities*, 168, Article 106498. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2025.106498>
 - Deng, T., Zhang, K., & Shen, Z.-J. M. (2021). A systematic review of a digital twin city: A new pattern of urban governance toward smart cities. *Journal of Management Science and Engineering*, 6(2), 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.jmse.2021.03.003>
 - Elnosh, A., Calais, M., & Parlevliet, D. (2026). A systematic literature review of digital twin research for photovoltaic systems: Trends, challenges, and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 226, Article 116326. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116326>
 - Eri, A. B., & Elnæs, I. A. (2023). *The emergence of digital twin technology in urban planning: A study of perceptions, opportunities and barriers* [Master’s thesis, Norwegian University of Life Sciences].
 - Estelaji, F., Naseri, A., & Zahedi, R. (2022). Evaluation of the performance of vital services in urban crisis management. *Advances in Environmental and Engineering Research*, 3(4), 1–19. <https://doi.org/10.21926/aeer.2204057>
 - Ferré-Bigorra, J., Casals, M., & Gangolells, M. (2022). The adoption of urban digital twins. *Cities*, 131, Article 103905. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103905>
 - Ford, D. N., & Wolf, C. M. (2020). Smart cities with digital twin systems for disaster management. *Journal of Management in Engineering*, 36(4), Article 04020027. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000779](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000779)
 - Francisco, A., Mohammadi, N., & Taylor, J. E. (2020). Smart city digital twin-enabled energy management: Toward real-time urban building energy benchmarking. *Journal of Management in Engineering*, 36(2), Article 04019045. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000741](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000741)
 - Fuller, A., Fan, Z., Day, C., & Barlow, C. (2020). Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research. *IEEE Access*, 8, 108952–108971. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998358>
 - García-Luque, R., Toro-Gálvez, L., Moreno, N., Troya, J., Canal, C., & Pimentel, E. (2023). Integrating citizens’ avatars in urban digital twins. *Journal of Web Engineering*, 22(6), 913–938. <https://doi.org/10.13052/jwe1540-9589.2264>
 - Goff, D. C. (2021). The pharmacologic treatment of schizophrenia—2021. *JAMA*, 325(2), 175–176. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.19048>
 - Goodchild, M. F., Connor, D., Fotheringham, A. S., Frazier, A., Kedron, P., Li, W., & Tong, D. (2024). Digital twins in urban informatics. *Urban Informatics*, 3(1), Article 16. <https://doi.org/10.1007/s44212-024-00048-6>

- Habib, A., Habib, M., Bashir, B., & Bachir, H. (2025). Exploring the sustainability benefits of digital twin technology in achieving resilient smart cities during strong earthquake events. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 50(20), 16869–16883. <https://doi.org/10.1007/s13369-025-10017-z>
- Hämäläinen, M. (2020). Smart city development with digital twin technology. In *33rd Bled eConference: Enabling technology for a sustainable society* (pp. 291–303). University of Maribor Press. <https://doi.org/10.18690/978-961-286-362-3.20>
- Han, T., Zhao, J., & Li, W. (2020). Smart-guided pedestrian emergency evacuation in slender-shape infrastructure with digital twin simulations. *Sustainability*, 12(22), Article 9701. <https://doi.org/10.3390/su12229701>
- Haraguchi, M., Funahashi, T., & Biljecki, F. (2024). Assessing governance implications of city digital twin technology: A maturity model approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 204, Article 123409. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123409>
- Hielkema, H., & Hongisto, P. (2013). Developing the Helsinki smart city: The role of competitions for open data applications. *Journal of the Knowledge Economy*, 4(2), 190–204. <https://doi.org/10.1007/s13132-012-0087-6>
- Hristov, P. O., Petrova-Antonova, D., Ilieva, S., & Rizov, R. (2022). Enabling city digital twins through urban living labs. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLIII-B1-2022*, 151–156. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2022-151-2022>
- Jiang, F., Ma, L., Broyd, T., Chen, W., & Luo, H. (2022). Digital twin enabled sustainable urban road planning. *Sustainable Cities and Society*, 78, Article 103645. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103645>
- Kaluarachchi, Y. (2022). Implementing data-driven smart city applications for future cities. *Smart Cities*, 5(2), 455–474. <https://doi.org/10.3390/smartcities5020025>
- Karimi, K., & Taqhilou, A. A. (2020). Community-based crisis management: A path toward sustainable development. *Knowledge of Crisis Prevention and Management*, 10(1), 59–73. DOR: 20.1001.1.23225955.1399.10.1.5.1. [in Persian]
- Ketzler, B., Naserentin, V., Latino, F., Zangelidis, C., Thuvander, L., & Logg, A. (2020). Digital twins for cities: A state-of-the-art review. *Built Environment*, 46(4), 547–573. <https://doi.org/10.2148/benv.46.4.547>
- Kitchin, R. (2014). Big data, new epistemologies and paradigm shifts. *Big Data & Society*, 1(1), Article 2053951714528481. <https://doi.org/10.1177/2053951714528481>
- Koca, G., Egilmez, O., & Akcakaya, O. (2021). Evaluation of the smart city: Applying the DEMATEL technique. *Telematics and Informatics*, 62, Article 101625. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2021.101625>
- Krylov, O. (2025). *Designing a new digital twin framework for smart cities*. SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5100117>
- Lagap, U., & Ghaffarian, S. (2025). Predicting post-disaster damage levels and generating post-disaster imagery from pre-disaster satellite images using Pix2Pix. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLVIII-G-2025*, 861–867. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-G-2025-861-2025>
- Laudati, D., & Pesaran, M. H. (2023). Identifying the effects of sanctions on the Iranian economy using newspaper coverage. *Journal of Applied Econometrics*, 38(3), 271–294. <https://doi.org/10.1002/jae.2947>
- Lehtola, V. V., Koeva, M., Oude Elberink, S., Raposo, P., Virtanen, J.-P., Vahdatikhaki, F., & Borsci, S. (2022). Digital twin of a city: Review of technology serving city needs. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 114, Article 102915. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102915>
- Lei, B., Janssen, P., Stoter, J., & Biljecki, F. (2023). Challenges of urban digital twins: A systematic review and a Delphi expert survey. *Automation in Construction*, 147, Article 104716. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104716>
- Lei, B., Liu, P., Fujiwara, K., Frei, M., Miller, C., Chua, Y. X., & Biljecki, F. (2026). Multidimensional analysis of human outdoor comfort: Integrating just-in-time adaptive interventions (JITAI) in urban digital twins.

- Cities*, 168, Article 106443. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2025.106443>
- Lei, B., Su, Y., & Biljecki, F. (2024). Humans as sensors in urban digital twins. In *Recent advances in 3D geoinformation science: Proceedings of the 18th 3D GeoInfo Conference* (pp. 693–706). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-43699-4_42
 - Lin, H., Guo, R., Ma, D., Kuai, X., Yuan, Z., Du, Z., & He, B. (2024). Digital-twin-based multi-scale simulation supports urban emergency management: A case study of urban epidemic transmission. *International Journal of Digital Earth*, 17(1), Article 2421950. <https://doi.org/10.1080/17538947.2024.2421950>
 - Lu, Q., Parlikad, A. K., Woodall, P., Don Ranasinghe, G., Xie, X., Liang, Z., Konstantinou, E., Heaton, J., & Schooling, J. (2020). Developing a digital twin at building and city levels: Case study of West Cambridge campus. *Journal of Management in Engineering*, 36(3), Article 05020004. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000763](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000763)
 - Lv, Z., Shang, W.-L., & Guizani, M. (2022). Impact of digital twins and metaverse on cities: History, current situation, and application perspectives. *Applied Sciences*, 12(24), Article 12820. <https://doi.org/10.3390/app122412820>
 - Macatulad, E., & Biljecki, F. (2024). Continuing from the Sendai Framework midterm: Opportunities for urban digital twins in disaster risk management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 102, Article 104310. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2024.104310>
 - Madubuike, O. C., Anumba, C. J., & Khallaf, R. (2022). A review of digital twin applications in construction. *Journal of Information Technology in Construction*, 27, 145–172. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.008>
 - Marçal Russo, L., Dane, G., Helbich, M., Ligtenberg, A., Filomena, G., Janssen, C. P., Koeva, M., Nourian, P., Patuano, A., Raposo, P., Thompson, K., Yang, S., & Verstegen, J. A. (2026). Do urban digital twins need agents? *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 53(4), 778–803. <https://doi.org/10.1177/23998083251317666>
 - Masoumi, H., Shirowzhan, S., Eskandarpour, P., & Pettit, C. J. (2023). City digital twins: Their maturity level and differentiation from 3D city models. *Big Earth Data*, 7(1), 1–36. <https://doi.org/10.1080/20964471.2022.2160156>
 - Mavrokapnidis, D., Mohammadi, N., & Taylor, J. E. (2021). Community dynamics in smart city digital twins: A computer vision-based approach for monitoring and forecasting collective urban hazard exposure. In *Proceedings of the 54th Hawaii International Conference on System Sciences*. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2021.220>
 - Mazzetto, S. (2024). A review of urban digital twins integration, challenges, and future directions in smart city development. *Sustainability*, 16(19), Article 8337. <https://doi.org/10.3390/su16198337>
 - Montoya, A. L. (2002). *Urban disaster management: A case study of earthquake risk assessment in Cartago, Costa Rica* [Doctoral dissertation, Utrecht University]. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.
 - National Disaster Management Organization of Iran, & Natural Disasters Research Institute. (2021). National disaster risk reduction plan: Clause B of Article 4 of the National Disaster Management Law. Ministry of Interior. [in Persian]
 - National Disaster Management Organization of Iran. (2021). *National disaster management strategy of the Islamic Republic of Iran*. Ministry of Interior. [in Persian]
 - Novelo-Casanova, D. A., Suárez, G., Cabral-Cano, E., Fernández-Torres, E. A., Fuentes-Mariles, O. A., Havazli, E., Jaimes, M. Á., López-Espinoza, E. D., Martin-Del Pozzo, A. L., Morales-Barrera, W. V., Morales-Rodríguez, H. L., Nieto-Torres, A., Rodríguez-Elizarrarás, S., Solano-Rojas, D., & Velasco-Herrera, V. M. (2022). The Risk Atlas of Mexico City, Mexico: A tool for decision-making and disaster prevention. *Natural Hazards*, 111(1), 411–437. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05059-z>
 - Parrott, A., & Warshaw, L. (2017). *Industry 4.0 and the digital twin: Manufacturing meets its match*. Deloitte University Press.
 - Pedersen, A. N. (2022). *The digital twin of urban drainage systems: Dynamic models and measurements for error diagnosis* [Doctoral dissertation, Technical University of Denmark]. DTU Sustain.

- Peldon, D., Banihashemi, S., LeNguyen, K., & Derrible, S. (2024). Navigating urban complexity: The transformative role of digital twins in smart city development. *Sustainable Cities and Society*, 111, Article 105583. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105583>
- Pu, C., & Kitsuregawa, M. (2013). *Big data and disaster management: A report from the JST/NSF Joint Workshop*. Georgia Institute of Technology, Center for Experimental Research in Computer Systems.
- Pursiainen, C. (2017). *The crisis management cycle: Theory and practice*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315629179>
- Russo, M., Santoro, C., Santoro, F. F., & Tudisco, A. (2025). Advancing robotic systems with distributed multi-agent digital twins: A scalable and adaptive framework. *SN Computer Science*, 6(8), Article 975. <https://doi.org/10.1007/s42979-025-04525-w>
- Shaharuddin, S., Abdul Maulud, K. N., Syed Abdul Rahman, S. A. F., & Che Ani, A. I. (2022). Digital twin for indoor disaster in smart city: A systematic review. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLVI-4/W3-2021*, 315–322. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W3-2021-315-2022>
- Singh, M., Fuenmayor, E., Hinchy, E. P., Qiao, Y., Murray, N., & Devine, D. (2021). Digital twin: Origin to future. *Applied System Innovation*, 4(2), Article 36. <https://doi.org/10.3390/asi4020036>
- Suffia, G. (2023). How to regulate a digital twin city? Insights from a proactive law approach: How “human in the loop” and “precautionary principles” can serve policymakers in their attempt to incorporate respect of rights and solidarity in the smart city. In *Proceedings of the 24th Annual International Conference on Digital Government Research* (pp. 122–128). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3598469.3598482>
- Tähtinen, L. (2024). Introduction to crises, crisis management and resilience in the built environment. In S. Toivonen, S. Heinonen, I. Verma, R. Castaño-Rosa, & S. Wilkinson (Eds.), *Real estate and sustainable crisis management in urban environments: Challenges and solutions for resilient cities* (pp. 1–18). Routledge. <https://doi.org/10.1201/9781003474586-1>
- Tomko, M., & Winter, S. (2019). Beyond digital twins—A commentary. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 46(2), 395–399. <https://doi.org/10.1177/2399808318816992>
- Tuor, A. (2011). Crisis: Extensions in meaning from the Renaissance to Contemporary times. *Semantic Scholar*, 1-16.
- Urban Redevelopment Authority. (2019). *Digital twin for urban development*. <https://www.ur.gov.sg/Corporate/SmartPlanning/Digital-Twin>
- van der Velden, M. J. (2022). *Scaling digital twins: A roadmap to address operational planning uncertainties of container terminals* [Master's thesis, Delft University of Technology]. <https://resolver.tudelft.nl/uuid:a32e8e04-d74c-4284-bb5d-2ac698ad7f06>
- Weil, C., Bibri, S. E., Longchamp, R., Golay, F., & Alahi, A. (2023). Urban digital twin challenges: A systematic review and perspectives for sustainable smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 99, Article 104862. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104862>
- White, G., Zink, A., Codecá, L., & Clarke, S. (2021). A digital twin smart city for citizen feedback. *Cities*, 110, Article 103064. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.103064>
- Wortley, D. J. (2024). Digital twins and disaster risk reduction. In *Proceedings of the 9th International Conference on Cartography and GIS* (pp. 16–21).
- Xie, L., & Liu, C. (2024). *3D city modeling on infrastructure construction using digital twin*. *Computer-Aided Design & Applications*, 21(S12), 2024, 1-18 © 2024 U-turn Press LLC, <http://www.cad-journal.net>
- Xu, H., Omitaomu, F., Sabri, S., Zlatanova, S., Li, X., & Song, Y. (2024). Leveraging generative AI for urban digital twins: A scoping review on the autonomous generation of urban data, scenarios, designs, and 3D city models for smart city advancement. *Urban Informatics*, 3(1), Article 29. <https://doi.org/10.1007/s44212-024-00060-w>
- Yang, S., & Kim, H. (2021). Urban digital twin applications as a virtual platform of smart city. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 12(4),

363–379.

<https://doi.org/10.22712/susb.20210030>

- Ye, X., Wang, S., Lu, Z., Song, Y., & Yu, S. (2021). Towards an AI-driven framework for multi-scale urban flood resilience planning and design. *Computational Urban Science*, 1(1), Article 11. <https://doi.org/10.1007/s43762-021-00011-0>
- Yu, D., & He, Z. (2022). Digital twin-driven intelligence disaster prevention and mitigation for infrastructure: Advances,

challenges, and opportunities. *Natural Hazards*, 112(1), 1–36.<https://doi.org/10.1007/s11069-021-05190-x>

- Zali, N., Soltani, A., Najafi, P., Qajari, S. E., & Mehrju, M. (2024). Digital twins for smarter Iranian cities: A future studies perspective. *Computational Urban Science*, 4(1), Article 43. <https://doi.org/10.1007/s43762-024-00155-9>

نحوه ارجاع به مقاله:

ریاحی دهکردی، علی؛ شکیبامنش، امیر (۱۴۰۵) مروری بر مفهوم همزاد دیجیتال شهری و نقش آن در مدیریت بحران شهری، مطالعات شهری، ۱۵ (۵۹)، ۷۶-۹۳.

Doi: 10.22034/urbs.2026.143266.5139.

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Motaleate Shahri. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

