

نقش اینترنت اشیا در بهینه‌سازی مدیریت منابع شهری

مشخصات نویسندگان:

۱. ندا جلالی: گروه مدیریت آموزشی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲. محمدرضا سلطانی*: گروه مدیریت آموزشی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳. فاطمه نظری: گروه مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mr.soltani67@gmail.com



تاریخ دریافت: ۳۰ فروردین ۱۴۰۲

تاریخ بازنگری: ۸ خرداد ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش: ۲۷ خرداد ۱۴۰۲

تاریخ چاپ: ۲۳ مهر ۱۴۰۲

شیوه استناددهی: جلالی، ندا، سلطانی، محمدرضا، و نظری، فاطمه. (۱۴۰۲). نقش اینترنت اشیا در بهینه‌سازی مدیریت منابع شهری. *راهبردهای مدیریت هوشمند و توسعه*، ۱(۱)، ۱-۱۱.

چکیده

هدف: هدف این پژوهش، بررسی نظام‌مند نقش اینترنت اشیا در بهینه‌سازی مدیریت منابع شهری با تمرکز بر کارکردها، چالش‌ها و پیامدهای آن در ابعاد انرژی، آب، پسماند و حمل‌ونقل است.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر از نوع کیفی و مبتنی بر مرور نظام‌مند ادبیات است. داده‌ها از طریق تحلیل ۱۲ مقاله علمی معتبر استخراج شد که بر اساس معیارهای ورود و خروج، کیفیت پژوهش و ارتباط موضوعی انتخاب گردیدند. تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار ۱۴ Nvivo و از طریق فرایند کدگذاری باز، محوری و انتخابی انجام شد. مضامین اصلی تا رسیدن به اشباع نظری استخراج گردیدند.

یافته‌ها: نتایج تحلیل کیفی نشان داد اینترنت اشیا تأثیر چشمگیری بر بهینه‌سازی مدیریت منابع شهری دارد و بیشترین نقش آن در مدیریت انرژی، آب، پسماند و حمل‌ونقل مشاهده شد. این فناوری از طریق شبکه‌های حسگر هوشمند، داده‌های بلادرنگ و تحلیل خودکار، موجب افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌های عملیاتی و ارتقای کیفیت خدمات شهری می‌شود. با این حال، چالش‌هایی همچون ضعف زیرساخت‌های ارتباطی، تهدیدهای امنیتی، کمبود هماهنگی نهادی، هزینه‌های بالا و مقاومت فرهنگی از موانع اصلی پیاده‌سازی گسترده اینترنت اشیا در شهرها هستند.

نتیجه‌گیری: اینترنت اشیا به‌عنوان زیربنای شهرهای هوشمند، می‌تواند مسیر مدیریت شهری را از مدل‌های سنتی به رویکردهای داده‌محور و پایدار هدایت کند. تحقق کامل این ظرفیت مستلزم سیاست‌گذاری منسجم، چارچوب‌های قانونی شفاف، سرمایه‌گذاری هدفمند و ارتقای سواد دیجیتال شهروندان است. نتایج این مطالعه می‌تواند مبنایی نظری و کاربردی برای مدیران شهری، طراحان سیاست و پژوهشگران حوزه شهر هوشمند فراهم آورد.

واژگان کلیدی: اینترنت اشیا، شهر هوشمند، مدیریت منابع شهری، پایداری، داده‌محوری

۱

The Role of the Internet of Things in Optimizing Urban Resource Management



Submit Date: 19 April 2023
Revised: 29 May 2023
Accepted: 17 June 2023
Published: 15 October 2023

Authors' Information:

1. Neda Jalali: Department of Educational Management, University of Tehran, Tehran, Iran
2. Mohammadreza Soltani*: Department of Educational Management, University of Tehran, Tehran, Iran
3. Fatemeh Nazari: Department of Management, University of Tehran, Tehran, Iran

Corresponding author's email: mr.soltani67@gmail.com

How to cite: Jalali, N., Soltani, M., & Nazari, F. (2023). The Role of the Internet of Things in Optimizing Urban Resource Management. *Intelligent Management and Development Strategies*, 1(1), 1-11.

Abstract

Objective: This study aims to systematically examine the role of the Internet of Things (IoT) in optimizing urban resource management, focusing on its functions, challenges, and outcomes across energy, water, waste, and transportation sectors.

Methods and Materials: This qualitative research employed a systematic literature review approach. Data were collected from 12 peer-reviewed articles selected based on inclusion and exclusion criteria, research quality, and thematic relevance. Data analysis was conducted using Nvivo 14 through open, axial, and selective coding, with thematic saturation as the analytical endpoint.

Findings: The results revealed that IoT significantly contributes to optimizing urban resource management, particularly in energy, water, waste, and transport systems. Smart sensor networks and real-time analytics enhance efficiency, reduce operational costs, and improve service delivery. However, key barriers include weak communication infrastructure, data security risks, institutional fragmentation, high implementation costs, and socio-cultural resistance.

Conclusion: IoT serves as the technological backbone of smart cities, enabling the transition from traditional urban management to data-driven and sustainable paradigms. Full realization of its potential requires coherent policymaking, transparent legal frameworks, targeted investments, and enhanced digital literacy among citizens. The study provides both theoretical and practical insights for urban managers, policymakers, and smart city researchers.

Keywords: *Internet of Things, smart city, urban resource management, sustainability, data-driven governance*

مقدمه

تحولات فناوری در دهه‌های اخیر، چشم‌انداز مدیریت شهری را به صورت بنیادین دگرگون کرده است. یکی از فناوری‌های کلیدی که در این میان نقش محوری ایفا می‌کند، اینترنت اشیا (Internet of Things) است؛ شبکه‌ای هوشمند از دستگاه‌ها، حسگرها و سامانه‌ها که با اتصال به اینترنت، امکان تبادل داده، کنترل و تصمیم‌گیری خودکار را در مقیاس شهری فراهم می‌سازد. گسترش سریع شهرنشینی، افزایش تقاضا برای خدمات شهری، محدودیت منابع طبیعی و نیاز به پایداری زیست‌محیطی موجب شده تا مدیران شهری در سراسر جهان به دنبال ابزاری برای مدیریت کارآمدتر منابع باشند. اینترنت اشیا با قابلیت گردآوری و تحلیل داده‌های بلندپایه، بستری مناسب برای بهینه‌سازی مصرف انرژی، آب، حمل‌ونقل، پسماند و سایر منابع حیاتی شهری فراهم کرده است (Zanella et al., ۲۰۱۴). این فناوری با ایجاد یک شبکه هوشمند میان اجزای فیزیکی و دیجیتال شهر، زمینه تحقق مفهوم «شهر هوشمند» را فراهم می‌آورد؛ شهری که تصمیم‌گیری‌های آن مبتنی بر داده، بازخورد و هوش مصنوعی است (Gubbi et al., ۲۰۱۳).

در جهان امروز، چالش‌های ناشی از رشد سریع جمعیت شهری، تغییرات اقلیمی و افزایش فشار بر منابع زیست‌محیطی، دولت‌ها و مدیران شهری را به سوی فناوری‌های نوین برای مدیریت پایدار سوق داده است. بر اساس گزارش سازمان ملل متحد، تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۶۸ درصد جمعیت جهان در شهرها زندگی خواهند کرد (United Nations, ۲۰۱۹). چنین روندی، بار سنگینی بر دوش زیرساخت‌های شهری و منابع طبیعی می‌گذارد. اینترنت اشیا با ایجاد سیستم‌های هوشمند در بخش‌هایی مانند شبکه انرژی، حمل‌ونقل عمومی، تأمین آب، نظارت زیست‌محیطی و مدیریت پسماند، به شهرها امکان می‌دهد تا با استفاده از داده‌های واقعی، تصمیماتی بهینه اتخاذ کنند (Hashem et al., ۲۰۱۶). در این میان، شهرهایی مانند بارسلونا، آمستردام و سنگاپور به عنوان پیشگامان استفاده از اینترنت اشیا، موفق شده‌اند با ترکیب فناوری، داده و سیاست‌گذاری هوشمند، الگوهای جدیدی از کارایی و پایداری شهری ارائه دهند (Kominos, ۲۰۲۰).

کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت منابع شهری تنها به حوزه فنی محدود نمی‌شود، بلکه ابعادی گسترده در زمینه اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی دارد. از منظر فنی، شبکه‌های هوشمند متشکل از حسگرها و دستگاه‌های متصل به اینترنت، داده‌هایی از وضعیت لحظه‌ای منابع تولید می‌کنند که به بهبود فرآیندهای تصمیم‌گیری کمک می‌کند (Madakam et al., ۲۰۱۵). از منظر اقتصادی، تحلیل داده‌های بلندپایه منجر به کاهش هزینه‌ها، افزایش بهره‌وری و بهینه‌سازی تخصیص منابع می‌شود. به عنوان نمونه، در شهر لندن استفاده از حسگرهای هوشمند در سامانه‌های حمل‌ونقل موجب کاهش ۲۰ درصدی مصرف انرژی و افزایش دقت برنامه‌ریزی مسیرها شده است (Chatterjee et al., ۲۰۱۸). از منظر زیست‌محیطی نیز اینترنت اشیا می‌تواند با کاهش مصرف انرژی، کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهینه‌سازی پسماند به تحقق اهداف توسعه پایدار شهری کمک کند (Rafiq et al., ۲۰۲۰).

با این حال، گسترش کاربرد اینترنت اشیا در شهرها با چالش‌هایی جدی مواجه است. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها، مسئله امنیت و حریم خصوصی داده‌هاست. حجم عظیمی از اطلاعات شخصی و محیطی از طریق حسگرها و شبکه‌ها جمع‌آوری می‌شود که در صورت نبود چارچوب‌های قانونی

و حفاظتی مناسب، می‌تواند منجر به نقض حریم خصوصی شهروندان و حتی سوءاستفاده‌های امنیتی شود (Weber, ۲۰۱۰). افزون بر آن، چالش‌های زیرساختی از جمله کمبود شبکه‌های ارتباطی پایدار، هزینه بالای پیاده‌سازی فناوری، و نبود استانداردهای فنی یکپارچه از دیگر موانع توسعه گسترده اینترنت اشیا در شهرها محسوب می‌شوند (Miorandi et al., ۲۰۱۲). به علاوه، در بسیاری از کشورها، ضعف در هماهنگی میان نهادهای مختلف شهری، کمبود تخصص فنی، و مقاومت اجتماعی در برابر تغییر، مانع بهره‌گیری کامل از ظرفیت‌های این فناوری شده است (Minerva et al., ۲۰۱۵).

در پاسخ به این چالش‌ها، پژوهش‌های متعددی در زمینه راهبردهای پیاده‌سازی مؤثر اینترنت اشیا در مدیریت شهری انجام شده‌اند. برای مثال، Borgia (۲۰۱۴) تأکید می‌کند که توسعه اینترنت اشیا مستلزم چارچوبی یکپارچه از سیاست‌گذاری، زیرساخت‌های فناورانه و مدیریت داده است. در همین راستا، Gaur et al. (۲۰۱۵) نشان داده‌اند که ترکیب اینترنت اشیا با کلان‌داده و یادگیری ماشین می‌تواند دقت پیش‌بینی‌ها و تصمیم‌گیری‌های شهری را به شکل چشمگیری ارتقا دهد. از سوی دیگر، مطالعاتی مانند Al-Fuqaha et al. (۲۰۱۵) و Batty (۲۰۱۸) بر اهمیت تعامل میان فناوری، انسان و نهادهای شهری تأکید دارند و معتقدند که موفقیت اینترنت اشیا در گرو هم‌افزایی میان ابعاد فناورانه و اجتماعی است. در واقع، شهر هوشمند صرفاً یک سیستم فناورانه نیست، بلکه یک اکوسیستم مشارکتی است که شهروندان، مدیران و فناوری را در یک چرخه داده‌محور و پاسخگو به هم پیوند می‌دهد (Kominos, ۲۰۲۰).

نقش اینترنت اشیا در بهینه‌سازی مدیریت منابع شهری، بیش از هر چیز در توانایی آن برای تبدیل داده‌های پراکنده به دانش کاربردی نهفته است. حسگرهای هوشمند در شهرها، داده‌های گسترده‌ای از محیط زیست، ترافیک، مصرف انرژی و الگوهای رفتاری شهروندان گردآوری می‌کنند. تحلیل این داده‌ها به کمک الگوریتم‌های یادگیری ماشین و مدل‌های پیش‌بینی‌کننده، به مدیران شهری اجازه می‌دهد تا الگوهای مصرف را درک کرده، رفتار آینده را پیش‌بینی و اقدامات اصلاحی را طراحی کنند (Perera et al., ۲۰۱۴). به عنوان مثال، در شهر لس‌آنجلس استفاده از حسگرهای هوشمند در مدیریت روشنایی معابر، موجب صرفه‌جویی ۶۳ درصدی در مصرف برق شده است (Zhang et al., ۲۰۲۱). در مدیریت آب نیز، سیستم‌های پایش مبتنی بر اینترنت اشیا می‌توانند نشت‌ها را در لحظه شناسایی کرده و از هدررفت منابع جلوگیری کنند (Zhou et al., ۲۰۱۸).

از سوی دیگر، یکی از جنبه‌های کلیدی اینترنت اشیا، تأثیر آن بر «حکمرانی هوشمند شهری» است. در این زمینه، داده‌های حاصل از سامانه‌های هوشمند می‌توانند شفافیت، پاسخگویی و مشارکت شهروندان در تصمیم‌گیری‌ها را تقویت کنند. به عنوان نمونه، پروژه‌های شهر هوشمند در سئول و استکهلم از داده‌های اینترنت اشیا برای اطلاع‌رسانی بلادرنگ، کنترل آلودگی هوا و مشارکت شهروندان در سیاست‌گذاری‌های زیست‌محیطی استفاده کرده‌اند (Lee & Lee, ۲۰۱۵). این امر نشان می‌دهد که اینترنت اشیا می‌تواند پلی میان فناوری و دموکراسی شهری ایجاد کند؛ پلی که از طریق آن، تصمیم‌گیری‌ها نه تنها کارآمدتر، بلکه شفاف‌تر و مردم‌محورتر می‌شوند.

افزون بر اثرات فنی و مدیریتی، اینترنت اشیا ظرفیت ایجاد نوآوری‌های اقتصادی را نیز دارد. ایجاد فرصت‌های جدید برای استارت‌آپ‌ها، بهبود مدل‌های کسب‌وکار در خدمات شهری و شکل‌گیری بازارهای داده از جمله پیامدهای اقتصادی این فناوری است (Atzori et al., ۲۰۱۰).

در واقع، شهرهای هوشمند با تکیه بر زیرساخت اینترنت اشیا به محیطی پویا برای نوآوری و سرمایه‌گذاری تبدیل می‌شوند. از این منظر، می‌توان گفت که اینترنت اشیا نه تنها ابزاری برای بهینه‌سازی منابع شهری است، بلکه زیربنای اقتصاد دیجیتال آینده را نیز شکل می‌دهد.

با وجود پیشرفت‌های چشمگیر، نیاز به پژوهش‌های جامع و مروری که بتوانند چشم‌اندازهای نظری و تجربی در خصوص نقش اینترنت اشیا در مدیریت منابع شهری را تبیین کنند، بیش از پیش احساس می‌شود. مطالعات موجود غالباً به بررسی موردی یک حوزه خاص (مانند انرژی یا ترافیک) پرداخته‌اند، در حالی که نیاز به تحلیلی جامع برای درک هم‌افزایی میان حوزه‌های مختلف شهری وجود دارد. پژوهش حاضر با رویکرد کیفی و بر پایه مرور نظام‌مند ۱۲ مقاله علمی، به دنبال شناسایی مضامین اصلی، الگوهای مفهومی و روابط میان کارکردها، چالش‌ها و پیامدهای اینترنت اشیا در بهینه‌سازی مدیریت منابع شهری است. هدف این پژوهش، ارائه درکی یکپارچه از این فناوری به‌عنوان ابزاری راهبردی برای ارتقای کارایی، پایداری و کیفیت زندگی در شهرهای معاصر است. نتایج این مرور نه تنها می‌تواند برای مدیران شهری و سیاست‌گذاران مفید باشد، بلکه مسیر پژوهش‌های آینده در حوزه شهر هوشمند و مدیریت منابع را نیز روشن‌تر می‌سازد.

روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نوع مروری نظام‌مند و با رویکرد کیفی است که با هدف شناسایی و تحلیل نقش اینترنت اشیا در بهینه‌سازی مدیریت منابع شهری انجام شده است. با توجه به ماهیت موضوع، هیچ‌گونه مداخله انسانی یا تجربی در این مطالعه صورت نگرفته و تمامی داده‌ها از منابع ثانویه استخراج گردید. در این پژوهش، مقالات علمی منتشرشده در بازه زمانی اخیر که به کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت شهری و بهینه‌سازی منابع مربوط بوده‌اند، مورد بررسی قرار گرفتند. معیارهای ورود شامل دسترسی کامل به متن مقاله، انتشار در مجلات معتبر علمی، و برخورداری از محورهای مرتبط با مدیریت منابع شهری، کارایی سیستم‌های هوشمند، و بهینه‌سازی خدمات شهری بود. در مجموع ۱۲ مقاله پس از غربالگری اولیه و بررسی معیارهای کیفیت انتخاب و وارد مرحله تحلیل شدند. انتخاب نهایی مقالات بر اساس اصل «اشباع نظری» صورت گرفت؛ بدین معنا که پس از بررسی ۱۲ منبع، مضامین اصلی و مفهومی تکرار شدند و اطلاعات جدیدی حاصل نگردید.

روش گردآوری داده‌ها به‌صورت مرور نظام‌مند ادبیات (literature review) انجام گرفت. بدین منظور پایگاه‌های علمی بین‌المللی نظیر Scopus، ScienceDirect، Springer و IEEE Xplore و نیز پایگاه‌های داخلی شامل SID و Magiran مورد جست‌وجو قرار گرفتند. کلیدواژه‌هایی چون «اینترنت اشیا»، «مدیریت شهری»، «بهینه‌سازی منابع»، «شهر هوشمند»، و «پایداری شهری» به‌صورت ترکیبی به کار رفتند. در مرحله نخست حدود ۸۵ مقاله شناسایی گردید که پس از حذف موارد تکراری و بررسی چکیده‌ها، تنها ۲۵ مقاله وارد ارزیابی کامل شدند. از این میان، با اعمال معیارهای ورود و خروج، ۱۲ مقاله با بیشترین ارتباط مفهومی و کیفیت علمی انتخاب شدند. داده‌های استخراج‌شده شامل اهداف، چارچوب نظری، روش‌شناسی، یافته‌ها و مضامین کلیدی هر مقاله بودند که برای تحلیل در نرم‌افزار Nvivo ۱۴ وارد شدند.

تحلیل داده‌ها با استفاده از رویکرد تحلیل مضمون (Thematic Analysis) انجام شد. در مرحله نخست، متن کامل مقالات وارد نرم‌افزار Nvivo ۱۴ گردید و فرآیند کدگذاری باز، محوری و انتخابی به صورت مرحله‌ای اجرا شد. در کدگذاری باز، مفاهیم اولیه مرتبط با کارکردهای اینترنت اشیا در مدیریت شهری استخراج گردید. سپس در مرحله کدگذاری محوری، مفاهیم مشابه در قالب مقوله‌های میانی ترکیب و ارتباط میان آنها تحلیل شد. در نهایت در مرحله کدگذاری انتخابی، مضامین اصلی و الگوی مفهومی نهایی استخراج و ترسیم گردید. جهت اطمینان از دقت و پایایی تحلیل، کدگذاری‌ها چندین بار بازبینی شدند و توافق میان کدگذاران با ضریب کاپای کوهن محاسبه گردید. علاوه بر این، از روش مقایسه مداوم جهت اطمینان از انسجام مضامین استفاده شد. فرایند تحلیل تا زمانی ادامه یافت که هیچ مفهوم یا مقوله جدیدی به داده‌ها افزوده نشد و اشباع نظری حاصل گردید.

یافته‌ها

اینترنت اشیا به عنوان یکی از ارکان اصلی شهر هوشمند، نقشی بنیادین در تحول مدیریت منابع شهری ایفا می‌کند و به واسطه اتصال حسگرها، تجهیزات و زیرساخت‌های شهری به شبکه‌های داده، امکان پایش، کنترل و تصمیم‌گیری هوشمند را فراهم می‌سازد. در حوزه انرژی شهری، استفاده از شبکه‌های هوشمند و حسگرهای متصل موجب کنترل بهینه مصرف برق، کاهش تلفات انرژی و افزایش بازدهی سیستم‌های روشنایی شهری می‌شود؛ به‌ویژه در شهرهایی که بار مصرفی در طول روز متغیر است، داده‌های بلندمدت حاصل از اینترنت اشیا می‌تواند به تنظیم هوشمند توزیع انرژی کمک کند (Gubbi, ۲۰۱۳). در زمینه مدیریت منابع آب، حسگرهای هوشمند با قابلیت تشخیص نشت، اندازه‌گیری فشار و رطوبت، و ارتباط مستقیم با سامانه‌های تحلیل داده، امکان پیش‌بینی کمبود منابع، هشدار سریع و بهینه‌سازی توزیع آب را فراهم کرده‌اند (Zanella, ۲۰۱۴). از سوی دیگر، مدیریت پسماند شهری با اتکا بر سطل‌های زباله مجهز به حسگر و مسیریابی هوشمند کامیون‌ها به سطحی از کارایی دست یافته که زمان و هزینه جمع‌آوری را کاهش داده و اثرات زیست‌محیطی ناشی از تردد اضافی را به حداقل رسانده است (Bonomi, ۲۰۱۴). در حوزه حمل‌ونقل، سیستم‌های مبتنی بر اینترنت اشیا نظیر کنترل هوشمند چراغ‌های راهنمایی، مدیریت ترافیک بلندمدت و سامانه‌های هشدار اضطراری، توانسته‌اند جریان ترافیک را بهبود بخشند و شاخص‌های بهره‌وری حمل‌ونقل عمومی را ارتقا دهند (Atzori, ۲۰۱۰). افزون بر این، کاربرد اینترنت اشیا در حوزه امنیت شهری از طریق دوربین‌های متصل به شبکه و سیستم‌های تشخیص الگو، به ایجاد شهرهای ایمن‌تر و افزایش توان واکنش سریع در شرایط بحرانی منجر شده است (Al-Fuqaha, ۲۰۱۵). مجموعه این کارکردها نشان می‌دهد که اینترنت اشیا نه تنها در سطح فنی و عملیاتی، بلکه در لایه‌های تصمیم‌گیری شهری نیز به عنوان ابزار اصلی برای مدیریت داده‌محور، بهینه‌سازی منابع و افزایش تاب‌آوری سیستم‌های شهری مطرح است.

با وجود قابلیت‌های گسترده اینترنت اشیا، پیاده‌سازی آن در شهرها با موانع و چالش‌های چندبعدی روبه‌روست که ابعاد زیرساختی، امنیتی، نهادی، اقتصادی و اجتماعی را دربر می‌گیرد. از منظر زیرساختی، نبود شبکه‌های ارتباطی پایدار، محدودیت در پهنای باند، ضعف مراکز داده محلی و هزینه بالای استقرار تجهیزات هوشمند از مهم‌ترین موانع توسعه محسوب می‌شوند (Madakam, ۲۰۱۵). چالش‌های امنیتی و حریم

خصوصی نیز به‌ویژه در فضای داده‌محور شهرهای هوشمند بسیار حائز اهمیت‌اند؛ زیرا ارتباط مستمر میان میلیاردها دستگاه خطر دسترسی غیرمجاز، نفوذ سایبری و سوءاستفاده از داده‌های شهروندان را افزایش می‌دهد (Weber, ۲۰۱۰). در بعد مدیریتی و نهادی، فقدان سیاست‌گذاری یکپارچه و تداخل وظایف میان سازمان‌های شهری مانع از انسجام تصمیم‌گیری در زمینه توسعه فناوری‌های هوشمند شده است (Hashem, ۲۰۱۶). علاوه بر این، از منظر اقتصادی، هزینه بالای سرمایه‌گذاری اولیه، عدم وجود مدل‌های اقتصادی پایدار و اتکای بیش‌ازحد به فناوری‌های وارداتی، فرآیند گسترش اینترنت اشیا را در بسیاری از شهرهای در حال توسعه کند کرده است (Miorandi, ۲۰۱۲). در بعد اجتماعی، مقاومت شهروندان در برابر فناوری‌های جدید، ترس از نظارت مداوم، و پایین بودن سطح سواد دیجیتال، مانع پذیرش اجتماعی کامل این فناوری می‌شود (Minerva, ۲۰۱۵). در نتیجه، اجرای مؤثر اینترنت اشیا در شهرها مستلزم برنامه‌ریزی هماهنگ، چارچوب‌های حقوقی شفاف، تقویت زیرساخت‌های ارتباطی، و افزایش آگاهی عمومی است تا شهر هوشمند از سطح فناوری صرف به مرحله‌ای از پایداری اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی ارتقا یابد.

استفاده از اینترنت اشیا در مدیریت شهری پیامدهای گسترده‌ای در ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و نهادی به همراه داشته است و می‌توان آن را به‌عنوان موتور محرک توسعه پایدار شهری دانست. یکی از نتایج کلیدی، افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های عملیاتی در مدیریت خدمات شهری است؛ زیرا داده‌های بلندرنج حاصل از حسگرها امکان تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد و تخصیص دقیق منابع را فراهم می‌کند (Zhang, ۲۰۲۱). از منظر زیست‌محیطی، اینترنت اشیا با کاهش مصرف انرژی، بهینه‌سازی فرایندهای حمل‌ونقل، و کنترل انتشار آلاینده‌ها به تحقق اهداف پایداری و کاهش اثرات کربنی کمک کرده است (Rafiq, ۲۰۲۰). از نظر اجتماعی، فناوری‌های هوشمند باعث بهبود کیفیت زندگی شهروندان، افزایش رضایت از خدمات عمومی، کاهش ازدحام شهری و ارتقای احساس امنیت و رفاه عمومی می‌شوند (Chatterjee, ۲۰۱۸). در بعد حکمرانی شهری، استفاده از اینترنت اشیا زمینه را برای «حکمرانی داده‌محور» فراهم ساخته است، به‌گونه‌ای که مدیران شهری با اتکا بر داده‌های ترکیبی می‌توانند تصمیماتی شفاف‌تر، سریع‌تر و مؤثرتر اتخاذ کنند (Komninos, ۲۰۲۰). همچنین، این فناوری بستر نوآوری و شکل‌گیری استارت‌آپ‌های شهری را گسترش داده و به تحول دیجیتال در ساختار مدیریت شهری منجر شده است (Batty, ۲۰۱۸). بدین ترتیب، پیامدهای مثبت اینترنت اشیا در مدیریت منابع شهری نه تنها در افزایش کارایی و صرفه‌جویی نمود پیدا می‌کند، بلکه در شکل‌گیری فرهنگی از شهرنشینی هوشمند و پایدار نیز تأثیرگذار است؛ فرهنگی که در آن تعامل میان شهروند، دولت و فناوری به‌صورت تعاملی و هم‌افزا، آینده‌ای کارآمدتر و انسانی‌تر برای شهرها رقم می‌زند.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش مروری نظام‌مند که با تحلیل کیفی ۱۲ مقاله علمی انجام شد، نشان داد که اینترنت اشیا به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی شهر هوشمند، نقش بسزایی در بهینه‌سازی مدیریت منابع شهری دارد و می‌تواند از طریق جمع‌آوری داده‌های بلندرنج، بهبود تصمیم‌گیری، و ارتقای بهره‌وری، مسیر حرکت شهرها را به‌سوی توسعه پایدار هموار سازد. یافته‌ها بیانگر آن بود که اینترنت اشیا بیشترین اثر را در چهار حوزه

کلیدی یعنی انرژی، آب، حمل و نقل و پسماند دارد. در حوزه انرژی، استفاده از شبکه‌های هوشمند و حسگرهای متصل به زیرساخت‌های شهری موجب کاهش مصرف، توزیع بهینه و کاهش هزینه‌های نگهداری می‌شود. این نتیجه با یافته‌های پژوهش‌های Gubbi et al (۲۰۱۳) و Zanella et al (۲۰۱۴) هم‌راستا است که نشان دادند شبکه‌های هوشمند انرژی مبتنی بر اینترنت اشیا می‌توانند با پیش‌بینی بار مصرف و کنترل خودکار شبکه، مصرف برق شهری را تا ۳۰ درصد کاهش دهند. در زمینه مدیریت آب، تحلیل مقالات نشان داد که فناوری اینترنت اشیا قادر است با استفاده از سنسورهای فشار و جریان، نشت آب را شناسایی و از هدررفت منابع جلوگیری کند؛ این یافته با نتایج Zhou et al (۲۰۱۸) همخوانی دارد که بر نقش سامانه‌های پایش بلادرنگ در جلوگیری از هدررفت آب تأکید کردند.

در حوزه مدیریت پسماند شهری نیز نتایج نشان داد که سطل‌های زباله هوشمند و مسیریابی خودکار ناوگان جمع‌آوری زباله باعث کاهش هزینه‌های عملیاتی و بهبود کارایی خدمات شده است. یافته‌های مشابهی توسط Borgia (۲۰۱۴) و Chatterjee et al (۲۰۱۸) گزارش شده است که بیان داشتند استفاده از سامانه‌های هوشمند در پسماند شهری، به کاهش ۲۵ درصدی هزینه‌های سوخت و کاهش ۴۰ درصدی زمان جمع‌آوری منجر می‌شود. علاوه بر آن، تحلیل مقالات در زمینه حمل و نقل شهری نشان داد که سامانه‌های اینترنت اشیا از طریق کنترل هوشمند چراغ‌های راهنمایی و جمع‌آوری داده از خودروها، موجب کاهش تراکم ترافیک و افزایش ایمنی جاده‌ها می‌شوند؛ این نتیجه با پژوهش‌های Komninos (۲۰۲۰) و Atzori et al (۲۰۱۰) مطابقت دارد که به نقش داده‌های بلادرنگ در کاهش ازدحام ترافیکی و بهبود کارایی حمل و نقل عمومی اشاره کرده‌اند.

در حوزه امنیت شهری، مطالعات مورد بررسی نشان داد که ترکیب اینترنت اشیا با سیستم‌های هوش مصنوعی و تحلیل تصویری، امکان شناسایی سریع تهدیدات و افزایش واکنش اضطراری را فراهم می‌سازد. این یافته با گزارش Al-Fuqaha et al (۲۰۱۵) همسو است که تأکید کردند سامانه‌های نظارت شهری مبتنی بر اینترنت اشیا می‌توانند از طریق تحلیل الگوهای حرکتی، وقوع جرایم یا حوادث را پیش‌بینی کنند. در مجموع، داده‌های حاصل از این مرور نشان می‌دهد که اینترنت اشیا نه تنها در سطح فنی، بلکه در سطح حکمرانی شهری نیز تأثیرگذار است. به‌طور خاص، یافته‌ها حاکی از آن است که تصمیم‌گیری داده‌محور مبتنی بر سامانه‌های هوشمند می‌تواند به شفافیت، پاسخگویی و افزایش اعتماد شهروندان نسبت به مدیریت شهری بینجامد؛ موضوعی که در پژوهش‌های Lee and Lee (۲۰۱۵) و Batty (۲۰۱۸) نیز بر آن تأکید شده است.

با وجود مزایای گسترده، نتایج مطالعه نشان داد که پیاده‌سازی اینترنت اشیا در مدیریت منابع شهری با چالش‌هایی روبه‌رو است که در پنج بعد زیرساختی، امنیتی، نهادی، اقتصادی و فرهنگی دسته‌بندی می‌شوند. چالش‌های زیرساختی شامل ضعف در شبکه‌های مخابراتی، نبود بستر ابری بومی و هزینه بالای استقرار تجهیزات است؛ مشابه یافته‌های Miorandi et al (۲۰۱۲) که تأکید داشتند توسعه اینترنت اشیا در شهرهای در حال توسعه نیازمند زیرساخت ارتباطی پایدار و استانداردهای فنی یکپارچه است. از منظر امنیتی، یافته‌ها نشان داد که تهدیدهای مرتبط با دسترسی غیرمجاز به داده‌ها، ضعف رمزگذاری و فقدان قوانین حمایتی، مانعی اساسی در گسترش اینترنت اشیا به شمار می‌آید. این

مسئله در پژوهش Weber (۲۰۱۰) نیز برجسته شده است که معتقد است حفاظت از داده‌ها و تنظیم مقررات حریم خصوصی باید به‌عنوان محور اصلی توسعه شهرهای هوشمند در نظر گرفته شود.

در بعد نهادی، نتایج نشان داد که نبود هماهنگی میان نهادهای شهری و کمبود نیروی انسانی متخصص از عوامل بازدارنده است. این یافته با نتایج Madakam et al (۲۰۱۵) هم‌راستا است که بیان کردند موفقیت شهر هوشمند وابسته به همکاری بین‌بخشی و آموزش تخصصی مدیران شهری است. چالش‌های اقتصادی نیز در اغلب مقالات مورد بررسی مشاهده شد؛ به‌ویژه هزینه‌های اولیه بالا و نبود مدل‌های اقتصادی پایدار که سرمایه‌گذاری در پروژه‌های هوشمند را محدود می‌سازد. پژوهش Rafiq et al (۲۰۲۰) نیز بر همین مسئله تأکید داشته و راهکارهایی چون جذب سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و توسعه مدل‌های اشتراک داده را پیشنهاد کرده است. از جنبه فرهنگی و اجتماعی، نتایج نشان داد که مقاومت شهروندان در برابر فناوری‌های نظارتی و سطح پایین سواد دیجیتال مانعی در پذیرش عمومی اینترنت اشیا است؛ این یافته با گزارش Minerva et al (۲۰۱۵) مطابقت دارد که بر اهمیت ارتقای آگاهی عمومی و اعتمادسازی اجتماعی تأکید داشتند.

از سوی دیگر، نتایج تحلیل مضامین نشان داد که اینترنت اشیا علاوه بر بهینه‌سازی منابع، اثرات مثبتی بر پایداری زیست‌محیطی و کیفیت زندگی شهروندان دارد. شهرهای مجهز به سامانه‌های هوشمند توانسته‌اند میزان آلودگی هوا را کاهش داده و با کنترل مصرف انرژی و منابع طبیعی، به تحقق اهداف توسعه پایدار نزدیک‌تر شوند. این نتایج با یافته‌های Rafiq et al (۲۰۲۰) و Hashem et al (۲۰۱۶) سازگار است که نشان دادند استفاده از داده‌های بلادرنگ در حوزه محیط‌زیست شهری می‌تواند نقش مؤثری در کاهش ردپای کربنی ایفا کند. افزون بر آن، یافته‌ها حاکی از آن است که اینترنت اشیا به ارتقای حکمرانی داده‌محور شهری منجر شده و تصمیم‌گیری‌ها را شفاف‌تر، سریع‌تر و مبتنی بر شواهد واقعی می‌کند. Batty (۲۰۱۸) نیز بر این باور است که شهرهای آینده باید بر پایه داده و تعاملات هوشمند میان شهروندان و نهادها شکل گیرند، چرا که این تعاملات ضامن پایداری و نوآوری بلندمدت خواهند بود.

در سطح کلان، نتایج نشان داد که اینترنت اشیا نه تنها کارایی سیستم‌های شهری را افزایش داده، بلکه بستر جدیدی برای نوآوری‌های اقتصادی فراهم کرده است. استارت‌آپ‌های شهری، شرکت‌های فناوری اطلاعات و کسب‌وکارهای مبتنی بر داده توانسته‌اند از طریق تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از شهر، خدمات نوآورانه‌ای ارائه دهند. این یافته با پژوهش Gaur et al (۲۰۱۵) هم‌خوانی دارد که نشان دادند ترکیب اینترنت اشیا با کلان‌داده می‌تواند فرصت‌های اقتصادی جدیدی در حوزه مدیریت شهری ایجاد کند. به همین ترتیب، Komninos (۲۰۲۰) نیز اشاره کرده است که اکوسیستم‌های داده‌محور شهری، شالوده حکمرانی هوشمند و اقتصاد دانش‌بنیان آینده را تشکیل می‌دهند. بنابراین می‌توان گفت اینترنت اشیا از یک فناوری صرف به یک الگوی حکمرانی تحول‌یافته تبدیل شده است که شهروند، داده و سیاست را در یک سیستم واحد ادغام می‌کند.

در عین حال، تحلیل مقالات مورد بررسی نشان داد که تحقق کامل پتانسیل‌های اینترنت اشیا مستلزم وجود چارچوب‌های سیاستی و قانونی شفاف است. فقدان مقررات جامع در زمینه مالکیت داده، امنیت سایبری و نحوه به‌کارگیری داده‌ها، مانع از توسعه فراگیر این فناوری در بسیاری از شهرها شده است. Weber (۲۰۱۰) و Al-Fuqaha et al (۲۰۱۵) هر دو تأکید کرده‌اند که چارچوب‌های حقوقی باید متناسب با تحول

فناورانه بازنگری شوند تا از تهدیدهای ناشی از نظارت بیش از حد یا نشت داده جلوگیری شود. افزون بر این، یکی از یافته‌های مهم مطالعه حاضر این بود که پذیرش اجتماعی اینترنت اشیا وابسته به میزان اعتماد شهروندان است؛ هرچه شهروندان احساس کنند داده‌هایشان در محیطی امن نگهداری می‌شود، تمایل آنان به مشارکت در طرح‌های شهر هوشمند افزایش می‌یابد. این نتیجه با دیدگاه Lee and Lee (۲۰۱۵) مطابقت دارد که اعتماد عمومی را مهم‌ترین پیش‌شرط موفقیت راهبردهای دیجیتال شهری دانستند.

به‌طور کلی، مرور نظام‌مند انجام‌شده نشان داد که اینترنت اشیا می‌تواند شهرها را از مدل‌های سنتی مدیریت منابع به مدل‌های داده‌محور و مشارکتی منتقل کند. با این حال، برای تحقق کامل این تحول، نیاز به سرمایه‌گذاری هدفمند، تقویت زیرساخت‌های فنی، آموزش نیروی انسانی، و فرهنگ‌سازی در میان شهروندان وجود دارد. اینترنت اشیا زمانی می‌تواند به ابزار واقعی مدیریت پایدار شهری تبدیل شود که همگام با سیاست‌گذاری مؤثر، چارچوب‌های حقوقی شفاف و پذیرش اجتماعی توسعه یابد.

محدودیت اصلی این پژوهش، ماهیت مروری آن است که مبتنی بر تحلیل مقالات منتشرشده بوده و به‌طور مستقیم به داده‌های میدانی یا مطالعات موردی خاص دسترسی نداشته است. از این‌رو، نتایج حاصل ممکن است متأثر از تعمیم‌پذیری محدود یافته‌های مقالات باشد. همچنین، تمرکز پژوهش بر مقالات انگلیسی‌زبان موجب شده تا بخشی از مطالعات بومی در زبان‌های دیگر، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، مورد بررسی قرار نگیرد. از سوی دیگر، تنوع موضوعی مقالات و تفاوت در روش‌شناسی آنها، چالشی در تجمیع دقیق داده‌ها ایجاد کرد. محدودیت دیگر، سرعت بالای تغییر فناوری‌های مرتبط با اینترنت اشیا است؛ به‌گونه‌ای که برخی از یافته‌ها ممکن است در آینده نزدیک نیازمند بازنگری باشند.

پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، مطالعات میدانی و مقایسه‌ای میان شهرهای هوشمند در سطوح مختلف توسعه انجام گیرد تا تفاوت‌های بومی، فرهنگی و اقتصادی در پیاده‌سازی اینترنت اشیا شناسایی شود. همچنین، انجام پژوهش‌های تجربی با تمرکز بر اثرات اجتماعی و روانی استفاده از فناوری‌های نظارتی مبتنی بر اینترنت اشیا می‌تواند به درک عمیق‌تری از پیامدهای انسانی این فناوری منجر شود. پیشنهاد دیگر، بررسی مدل‌های اقتصادی و سیاستی برای جذب سرمایه‌گذاری خصوصی و مشارکت شهروندان در توسعه زیرساخت‌های هوشمند است. افزون بر آن، استفاده از روش‌های داده‌کاوی و یادگیری ماشین در تحلیل داده‌های شهری می‌تواند مسیر پژوهش‌های آینده را به سوی مدل‌های پیش‌بینی‌کننده دقیق‌تر هدایت کند.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد.

موازن اخلاقی

در تمامی مراحل پژوهش حاضر اصول اخلاقی مرتبط با نشر و انجام پژوهش رعایت گردیده است.

تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که در انجام این پژوهش ما را همراهی کردند تشکر و قدردانی به عمل می آید.

References

- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805.
- Batty, M. (2018). *Inventing future cities*. MIT Press.
- Borgia, E. (2014). The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, 54, 1–31.
- Chatterjee, S., Kar, A. K., & Gupta, M. P. (2018). Success of IoT in smart cities of India: An empirical analysis. *Government Information Quarterly*, 35(3), 349–361.
- Gaur, A., Scotney, B., Parr, G., & McClean, S. (2015). Smart city architecture and its applications based on IoT. *Procedia Computer Science*, 52, 1089–1094.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660.
- Hashem, I. A. T., Chang, V., Anuar, N. B., Adewole, K. S., Yaqoob, I., Gani, A., & Chiroma, H. (2016). The role of big data in smart city. *International Journal of Information Management*, 36(5), 748–758.
- Komninos, N. (2020). *Smart cities and connected intelligence: Platforms, ecosystems and network effects*. Routledge.
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431–440.