New Researches in the Smart City
Vol 1 (Issue 1), 38-56
Nrsc.apadana.ac.ir

Apadana Institute of Higher Education

Intelligent Waste Management Based on the Internet of Things: A Step Towards the City of Knowledge

Mila Malek Khalami *
Doctoral student of knowledge management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Mohammad Hasanzadeh
Director of the Department of Information Science and Epistemology and member of the Academic Board of Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Received: 11/September/2022
Accepted: 11/November/2022
ISSN: 2980-8936

Abstract

Waste management refers to the set of activities and measures necessary to organize waste from its source to final disposal. This process includes, among other things, the collection, transportation, treatment and disposal of waste with monitoring and regulation, as well as legal and regulatory frameworks related to waste management with recycling guidelines. On the other hand, waste management practices are not uniform between developed and developing countries, urban areas, rural areas, residential and industrial sectors. Paying attention to these differences can only be done through the use of a knowledge management system, and due to the complexity of this process and the multiplicity of roles and procedural rules, the use of new technologies is inevitable. Many researchers and industries are trying to find a solution to find a smarter way to manage waste pollution. In this article, intelligent waste management based on the Internet of Things is considered and explained as an underlying concept. In addition, the infrastructure of the smart city and the path to achieve the city of knowledge have been analyzed.

Keywords: knowledge management, smart city, internet of things, waste management, knowledge city infrastructure

* Corresponding Author: Mila_malek_1365@yahoo.com

فصلنامه پژوهش‌های نوین در شهر هوشمند
دوره ۱، شماره ۱، پاییز ۱۴۰۱، ۳۸-۵۶
Nrsc.apadana.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۰
ISSN: 2980-8936

مدیریت هوشمند پسماند بر پایه‌ی اینترنت اشیاء: گامی در مسیر شهر دانش

میلا ملک الکلامی * دانشجوی دکتری مدیریت دانش دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

محمد حسن‌زاده مدیر گروه علم اطلاعات و دانش‌شناسی و هیئت‌علمی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

چکیده

مدیریت پسماند به مجموعه فعالیت‌ها و اقدامات لازم برای ساماندهی پسماندها از مبدأ آن تا دفع نهایی گفته می‌شود. این فرایند علاوه بر موارد دیگر، جمع‌آوری، حمل‌ونقل، تصفیه و دفع زباله‌ها را نیز با نظارت و تنظیم و همچنین، چارچوب‌های قانونی و نظارتی مربوط به مدیریت پسماند دارای راهنمایی‌های مربوط به بازیافت را در بر می‌گیرد. از سوی دیگر، شیوه‌های مدیریت پسماند بین کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه، مناطق شهری، مناطق روستایی، بخش‌های مسکونی و صنعتی یکنواخت نیست. توجه به این تفاوت‌ها تنها از طریق به‌کارگیری یک نظام مدیریت دانش قابل انجام است. با توجه به پیچیدگی این فرایند و چندگانگی نقش‌ها و قواعد فرایندی، کاربست فناوری‌های نوین اجتناب‌ناپذیر است. بسیاری از محققان و صنعتگران در تلاش‌اند تا راه‌حلی هوشمندانه‌تر برای مدیریت آلودگی زباله‌ها ایجاد کنند. در این مقاله، مدیریت هوشمند پسماند بر پایه اینترنت اشیاء به‌عنوان یک مفهوم زیربنایی مورد توجه قرار گرفته و تبیین شده است. همچنین، زیرساخت‌های شهر هوشمند و مسیر دستیابی به شهر دانش مورد تحلیل قرار گرفته است.

کلیدواژه‌ها: مدیریت دانش، شهر هوشمند، اینترنت اشیاء، مدیریت پسماند، زیرساخت شهر دانش

* نویسنده مسئول: Mila_malek_1365@yahoo.com

مقدمه

شهر هوشمند چارچوبی است که عمدتاً با استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) برای توسعه، گسترش و ترویج شیوه‌های توسعه‌ی پایدار و با هدف رفع چالش‌های روبه‌رشد شهرنشینی، ایجاد شده است. بخش بزرگی از این چارچوب، اساساً یک شبکه‌ی هوشمند از اشیاء متصل و ماشین‌هایی است که اطلاعات را با استفاده از فناوری بی‌سیم و رایانش ابری انتقال می‌دهند. برنامه‌های اینترنت اشیاء مبتنی بر رایانش ابری، اطلاعات را در لحظه دریافت، تجزیه‌وتحلیل و مدیریت می‌کنند تا به شهرداری‌ها، شرکت‌ها و شهروندان برای بهبود کیفیت زندگی خود و اتخاذ تصمیمات بهتر کمک نمایند. مردم برای ارتباط با زیست‌بوم‌های یک شهر هوشمند از راه‌های مختلفی همچون تلفن‌های هوشمند، ابزارهای هوشمند قابل‌حمل، اتومبیل‌ها و خانه‌های هوشمند استفاده می‌کنند. یکپارچه‌سازی اشیاء و داده‌ها با زیرساخت‌های فیزیکی و خدمات شهری می‌تواند هزینه‌ها را کاهش و پایداری را بهبود دهد. جوامع می‌توانند روش‌های توزیع انرژی را بهبود بخشند، جمع‌آوری زباله را ساده‌تر کرده و به کمک اینترنت اشیاء سبب کاهش ترافیک و حتی بهبود کیفیت هوا شوند (http://nobka.ir).

صرف‌نظر از حوزه‌ی برنامه یا اهداف، یکی از مهم‌ترین عامل‌های مهم در تحول، داده‌های دیجیتالی و زیرساخت‌های ICT است و به‌طور خاص در رابطه با موضوع این کار، ابزارهای مبتنی بر GIS برجسته می‌شوند تا نقش مهمی در پشتیبانی تصمیم‌گیری و تحلیل داده‌ها داشته باشند. علاوه بر این، توسعه‌ی اینترنت اشیاء (IoT) و برنامه‌های کاربردی آن‌ها در راه‌حل‌های شهر هوشمند حائز اهمیت است. به‌طور خلاصه، داده‌های جمع‌آوری‌شده توسط سنسورها می‌توانند در سرورهای از راه دور که در آن ذخیره شده، پردازش و استفاده شوند و برای ردیابی، نظارت و درنهایت، تصمیم‌گیری هوشمندانه برای زیرساخت‌ها یا مدیریت خدمات استفاده شوند (Mitton et al., 2012).

جهان در بحبوحه‌ی یک انقلاب دیجیتالی قرار دارد و ما در یک جهان به‌هم‌پیوسته قرار داریم؛ امری که دو دهه‌ی پیش غیر قابل تصور به نظر می‌رسید. به لطف اینترنت، رسانه‌های اجتماعی، تلفن‌های هوشمند و سرویس‌های مبتنی بر ابر، دستگاه‌های هوشمند و دیجیتال نقش اساسی در زندگی افراد دارند.

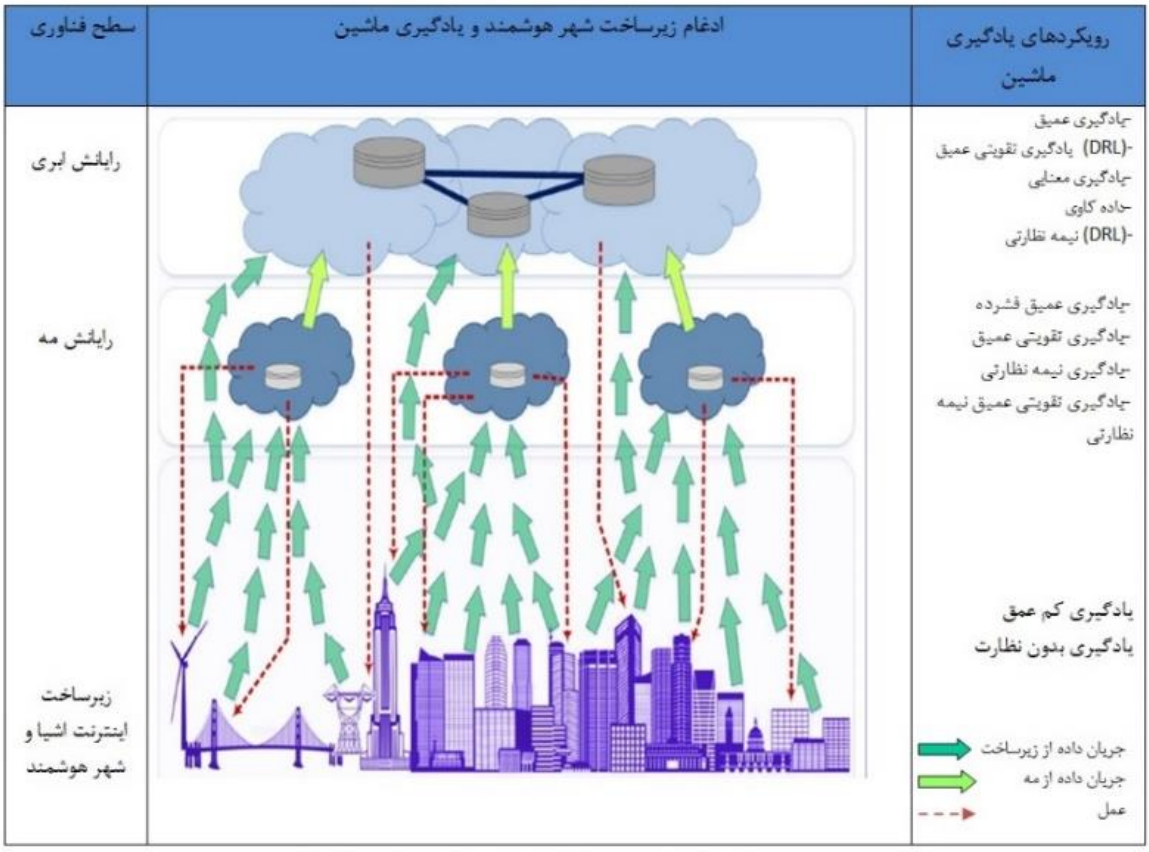
شهرها در سراسر جهان بیش از همه در حال تحول هستند و تبدیل به مراکز داده‌ی بی‌نهایت می‌شوند که یا در حرکتی مداوم بر روی دستگاه‌های هوشمند در سطح شهر مانند اتومبیل‌ها، اتوبوس‌ها و افراد ساخته شده‌اند یا به‌عنوان سنسورها، کنتورهای هوشمند و سایر دستگاه‌های نظارت در زیرساخت‌ها تعبیه شده‌اند. بهره‌برداری از این داده‌ها و استفاده از امکانات تقریباً نامحدود ارائه‌شده توسط جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، تجزیه‌وتحلیل و اشتراک‌گذاری این داده‌ها نگرانی و اولویت اصلی شهرهای مدرن در سراسر جهان است (Yanling & Fjældhøj, 2015). هدف پدیده‌ی شهرهای هوشمند، ارتقاء سطح کیفی زندگی به‌وسیله‌ی توانمندسازی هوش مشارکتی در بین منابع متفاوت موجود در شهر است (Fahmy, 2019).

شهر هوشمند به‌مثابه‌ی یک پلتفرم

پلتفرم شهر هوشمند، یک چارچوب سه‌سطحی هوشمند را شامل می‌شود. سطح اول، سطح زیرساخت‌های شهر هوشمند و اینترنت اشیاء، رایانش مه و رایانش ابری است. شکل (۱) موقعیت کلی رویکردهای یادگیری ماشین را در سلسله‌مراتب زیرساخت‌های شهر هوشمند نشان می‌دهد که در آن هر یک از اجزاء سامانه‌ی شهر هوشمند توسط یک عامل نرم‌افزاری هوشمند کنترل می‌شود که بسته به ویژگی‌های آنالیز موردنیاز، در مه یا ابر مستقر می‌شود (به‌عنوان‌مثال، حساسیت به زمان). درنتیجه، داده‌های خام می‌توانند به مه یا ابر منتقل شوند. سپس، عامل تحلیلی در حال اجرا یک

اقدام مناسب را بر اساس پیش بینی‌ها به دستگاه‌های زیرساختی برمی‌گرداند (به‌عنوان‌مثال، تنظیم زمان چراغ راهنمایی بر اساس داده‌های تراکم ترافیک از جاده‌های مربوطه).

انگیزه‌ی این معماری این است که هنگام سفر، داده‌ها از طریق زیرساخت‌های شهر هوشمند، سطوح عمیق‌تری از انتزاع داده‌ها و بازنمایی دانش را فراهم می‌آورند. در بالاترین سطح، یک انتزاع گسترده در سطح شهر برای مدیریت منابع و خدمات شهر به‌صورت بلندمدت موردنیاز است. از طرف دیگر، در پایین‌ترین سطح، از سنسورها و داده‌های هوشمند تولید داده برای مدیریت منابع و خدمات به‌صورت کوتاه‌مدت استفاده می‌شود. علاوه بر این، تجزیه‌وتحلیل مبتنی بر مه، اقدامات محلی در زمینه‌های از پیش تعریف‌شده را پشتیبانی می‌کند درحالی‌که تجزیه‌وتحلیل مبتنی بر ابر قادر به پوشش مناطق جغرافیایی بزرگ‌تر با زمینه‌های مختلف است. سطح زیرساخت اینترنت اشیاء جایی است که سنسورها و دستگاه‌های دارای محدودیت منابع، محیط را درک می‌کنند. محدودیت منابع این دستگاه‌ها از استقرار مدل‌های یادگیری پیچیده و بزرگ جلوگیری می‌کند. در عوض، چندین روش یادگیری ماشین‌های کم‌عمق ازجمله روش‌های بدون نظارت و نیمه نظارت (به‌عنوان‌مثال، ماشین‌های بردار پشتیبان) می‌توانند در چارچوب این دستگاه‌ها مورد استفاده قرار گیرند تا آن‌ها را هوشمندتر کنیم. بااین‌حال، برای نزدیک کردن تجزیه‌وتحلیل و هوش به منبع داده (به‌عنوان‌مثال، کاربران نهایی و دستگاه‌های محدودشده با منابع اینترنت اشیاء) نیاز به استفاده از مدل‌های یادگیری مدرن و پیشرفته مانند یادگیری عمیق وجود دارد. در سال‌های اخیر، روش‌های مختلفی برای فشرده‌سازی یا هرس شبکه‌های عصبی عمیق ارائه شده است تا بتوان آن‌ها را در دستگاه‌های محدودشده با منابع اینترنت اشیاء، پوشیدنی الکترونیکی و تلفن‌های هوشمند بارگذاری کرد (Han et al., 2015). با استفاده از چنین شبکه‌های عصبی فشرده‌شده‌ای می‌توان یادگیری تقویتی عمیق را با این دستگاه‌ها ادغام کرد.



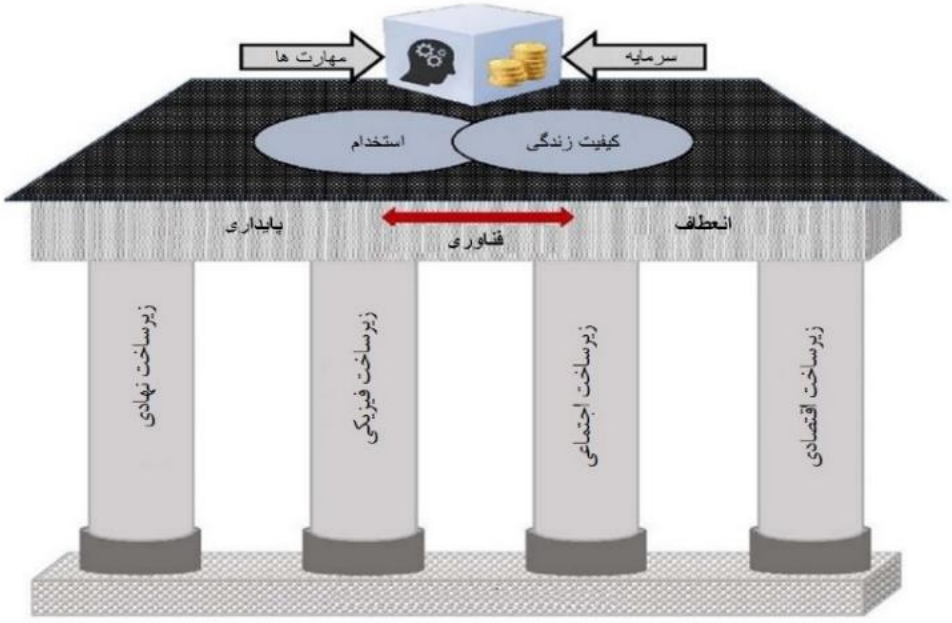
شکل ۱. سطوح هوشمندسازی یک شهر هوشمند

در سطح رایانش مه، داده‌های خام جمع شده و به سطح محاسبات ابری منتقل می‌شوند. مدل‌های یادگیری عمیق فشرده، یادگیری تقویت عمیق (DRL) و روش‌های نیمه نظارت می‌توانند در این سطح مورد استفاده قرار گیرند زیرا منابع در این سطح محدودیت‌های کمتری نسبت به منابع اینترنت اشیاء دارند. رویکرد پیشنهادی نیمه تأییدشده‌ی یادگیری تقویت عمیق نیز در این سطح قابل استفاده است. همچنین، در این سطح، هوشمندی سبک‌تری برای ورود به دروازه‌ها و پراکسی‌های اینترنت اشیاء نیاز است تا بتواند تحقق کارآمدی از ادغام افقی خدمات در پشتیبانی از برنامه‌های کاربردی شهر هوشمند داشته باشد (Al-Fuqaha et al., 2015). در سطح رایانش ابری، چارچوب‌ها و الگوریتم‌های داده‌کاوی و یادگیری پیچیده‌تر و وسیع‌تر ماشینی می‌توانند با یادگیری معنایی و هستی‌شناسی یکپارچه شوند تا بینش‌ها و الگوهای سطح بالایی را از داده‌های جمع‌آوری‌شده استخراج کنند. مدل‌های یادگیری عمیق در این سطح بسیار مناسب هستند زیرا قادر به ارائه‌ی انتزاعات عمیق‌تر از داده‌ها هستند. پیشرفت‌های اخیر در فناوری واحد پردازش گرافیک (GPU) و همچنین، توسعه‌ی الگوریتم‌های اولیه‌سازی پارامتر شبکه‌ی عصبی کارآمد (به‌عنوان‌مثال، اتوکدکننده‌ها)، استفاده از واحدهای خطی اصلاح‌شده (ReLUs) و معرفی شبکه‌های عصبی بلندمدت حافظه‌ی کوتاه‌مدت (LSTM) شبکه‌های عصبی و انواع آن‌ها به حل مشکل گرادیان ناپدیدشده و درنتیجه، امکان تحقق مدل‌های یادگیری عمیق‌تر کارآمد کمک می‌کند (Mohammadi, 2018).

ستون‌های اصلی شهر هوشمند

زیرساخت‌های نهادی، فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی به‌عنوان چهار ستون (مضمون) یک شهر هوشمند در نظر گرفته شده‌اند (Mohanty et al., 2016).

چهار ستون یک شهر هوشمند در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲. سطوح هوشمندسازی یک شهر هوشمند

اداره‌ی شهرهای هوشمند، زیرمجموعه‌ی زیرساخت‌های نهادی است و با مشارکت در تصمیم‌گیری، خدمات عمومی و اجتماعی، حاکمیت شفاف و راهبردها و چشم‌اندازهای سیاسی مرتبط است (Yanling & Fjældhøj, 2015). توجه دقیق و حساس به چشم‌اندازهای سیاسی، مدیریت یک شهر را بسیار آسان‌تر کرده است. کسب سود

حداکثری سرمایه‌ی انسانی برای بهسازی یک شهر هوشمند ضروری است. مشارکت و کار با شهروندان تأثیر مثبتی در استفاده از سرمایه‌ی انسانی دارد. دولت نقش مهمی در هماهنگی بین شهروندان و دستگاه‌های اداری ایفا می‌کند. زیرساخت‌های نهادی با حداکثر مزیت شهر هوشمند با دولت‌های منطقه و دولت مرکزی ارتباط برقرار می‌کنند. زیرساخت‌های نهادی یک شهر هوشمند، سازمان‌های دولتی، خصوصی، غیرنظامی و ملی را در صورت لزوم به‌منظور فراهم کردن تعامل بین خدمات، ادغام می‌کند. در حقیقت، این ادغام نهادهای مختلف، مدیریت کارآمد، مطمئن و مؤثرتری را به شهروندان عرضه می‌کند.

ستون زیرساخت‌های فیزیکی، پایداری منابع را برای ادامه‌ی عملیات شهر در حال و آینده تضمین می‌کند (Mohanty et al., 2016). کیفیت زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات، عملکرد یک شهر هوشمند را افزایش می‌دهد. علاوه بر زیرساخت فناوری اطلاعات و ارتباطات، کیفیت و در دسترس بودن شبکه‌ی اشیاء هوشمند از اهمیت مشابهی در تحقق شهرهای هوشمند برخوردار است. زیرساخت‌های فیزیکی بیشتر به ساختمان‌های سبز، برنامه‌ریزی شهری سبز، نوسازی ساختمان‌ها و امکانات و انرژی هوشمند گسترش یافته است (Yanling & Fjældhøj, 2015). ازاین‌رو، اکثر ابتکارات شهر هوشمند بر حفظ منابع طبیعی شهر یعنی آبراه‌ها، فضای سبز و فاضلاب تمرکز دارند (Bowerman et al., 2000). شهر هوشمند از فناوری برای خدمت به مدیریت بهتر بهره می‌برد و درعین‌حال پایداری منابع طبیعی را افزایش می‌دهد.

زیرساخت‌های اجتماعی یک شهر هوشمند شامل سرمایه‌های فکری، سرمایه‌های انسانی و کیفیت زندگی است. آگاهی، مسئولیت و تعهد شهروندان نقشی اساسی در محبوبیت مفهوم شهر هوشمند دارند. ازاین‌رو، زیرساخت‌های اجتماعی برای تکامل و پایداری یک شهر هوشمند بسیار مهم می‌شوند. اگرچه شهرهای هوشمند به‌خوبی ساماندهی شده‌اند و از فناوری‌های پیشرفته و مجهز به تجهیزات پیشرفته استفاده می‌کنند اما پایداری بدون آگاهی اجتماعی تضمین نمی‌شود. ازآنجاکه استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات برای ارتقاء سطح زندگی شهروندان در زیربنای زیرساخت‌های اجتماعی قرار دارد، می‌توان ادعا کرد که زیرساخت‌های اجتماعی به‌شدت تحت تأثیر کیفیت زندگی شهروندان قرار می‌گیرد. ازاین‌رو، توسعه‌ی شهری مبتنی بر دانش به‌عنوان یک عامل مهم در شهرهای هوشمند مدرن در نظر گرفته شده است (Yigitcanlar et al., 2008).

اقتصاد هوشمند مفهومی است که به مرزهای اقتصاد خرد و کلان می‌رسد. از دید کلی، استفاده از بهترین شیوه‌ها و کاربردهای تجارت الکترونیکی و کسب‌وکار الکترونیکی برای افزایش بهره‌وری شهر به‌عنوان اقتصاد هوشمند شناخته می‌شود. علاوه بر این، اقتصاد هوشمند شامل نوآوری‌های جدید در فناوری اطلاعات و ارتباطات، تولید و ارائه‌ی خدمات مرتبط با فناوری اطلاعات و ارتباطات و ادغام فناوری‌های پیشرفته است که قابلیت اطمینان و عملکرد مدیریت اقتصادی را ارتقاء می‌بخشد. هزینه‌های عمومی در زمینه‌ی تحقیق و توسعه (R&D)، تولید ناخالص داخلی سرانه‌ی جمعیت شهر، شاخص ناخالص مصرف انرژی داخل کشور، درصد پروژه‌های تأمین‌شده توسط جامعه‌ی مدنی و میزان اشتغال در صنایع مختلف (Lombardi et al., 2015) ، برخی از موارد اساسی شاخص‌های مورد استفاده در ارزیابی عملکرد زیرساخت‌های اقتصادی هستند (Bhagya Nathali et al., 2018).

با وجود مزایای بی‌شمار پروژه‌های شهر هوشمند، به دلیل نیازهای منحصربه‌فرد شهر و تفاسیر متفاوت مفاهیم استقرار، چالش‌های بسیاری در هنگام استقرار وجود دارد. این تغییرات را می‌توان در ابعاد زیر طبقه‌بندی نمود:

- چالش‌های فناوری با پوشش و ظرفیت
- امنیت دیجیتال
- قانون‌گذاری و سیاست‌گذاری

- عدم اعتمادبه‌نفس یا عدم تمایل توسط شهروندان (عدم وضوح در مورد مزایا)
- بودجه و مدل‌های تجاری
- قابلیت همکاری
- زیرساخت‌های موجود برای سامانه‌های انرژی، آب و حمل‌ونقل

نیاز به مدیریت هوشمند پسماند

مطالعات تخمین می‌زند که تا سال ۲۰۵۰، دوسوم جمعیت جهان در مناطق شهری ساکن شوند. این امر منجر به ضرورت خدمات هوشمند برای تأمین نیازهای ساکنان شهرها می‌شود. یک راه‌حل در حال ظهور برای مقابله با این مسئله، همگرایی فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات از طریق اجرای مفاهیم شهرهای هوشمند و اینترنت اشیاء برای ارائه‌ی راه‌حل‌ها در زمینه‌های مختلف مانند زیرساخت‌ها، حمل‌ونقل و نظارت است (Manfro & Deito, 2019). بر اساس داده‌های منتشرشده توسط وزارت امور اقتصادی و اجتماعی سازمان ملل متحد، پیش‌بینی می‌شود سهم جمعیت شهری در سراسر جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۶۶٪ برسد (Pardini & Rodrigues, 2019).

با توجه به رشد نرخ جمعیت، تولید زباله یکی از مسائل پیش روی انسان امروزی است. با افزایش جمعیت، میزان زباله‌هایی که انسان دفع می‌کند، به‌سرعت در حال افزایش است و بدون تغییر و تحول نمی‌توان آن را کنترل کرد. این امر در ایران نیز قابل‌توجه است و باید همگام با رشد تکنولوژی راهی برای مدیریت و کنترل آن بیابیم.

متوسط تولید روزانه‌ی زباله به ازای هر شخص در جهان، ۳۰۰ گرم و در ایران، ۷۰۰ گرم است که این امر به تولید روزانه‌ی ۵۸ هزار تن زباله با نسبت ۷۰٪ تر و ۳۰٪ خشک منجر می‌شود.

طبق گزارش‌ها، ۷۰ درصد زباله‌های جهان بازیافت می‌شود درحالی‌که در ایران این مهم تنها برای ۲۰ درصد از زباله‌ها اتفاق می‌افتد.

در ایران تنها ۱۰ درصد زباله‌ها در مبدأ تفکیک می‌شود که نماد سطح مشارکت پایین ایرانیان در تفکیک ۲۰ میلیون تن زباله‌ی سالانه‌ی این کشور است. از این مقدار زباله‌ی تولیدی، ۸۰ درصد سهم ساکنان شهرها و ۲۰ درصد باقیمانده‌ی آن تولید ساکنان روستاهای ایران است.

هر فرد تهرانی به‌طور متوسط سالانه شش برابر وزن خود زباله تولید می‌کند. تعداد دفعات جمع‌آوری زباله در تهران دو تا سه بار در روز است که این مقدار در کشورهای جهان ۲ تا سه بار در هفته است،. ایرانی‌ها سالانه ۲۰ میلیون تن زباله تولید می‌کنند که ۱۷۷ هزار تن آن را زباله‌های پلاستیکی تشکیل می‌دهد؛ زباله‌هایی که سهم ۱۵ درصدی از زباله‌های جهان دارند و توسط یک درصد از جمعیت دنیا یعنی ما ایرانیان تولید می‌شوند.

زباله و مدیریت درست آن در تولید ارزش‌افزوده نقش بسیاری دارد، تا حدی که در شرایط حاضر، صنعت بازیافت ۱۵ درصد تولید ناخالص داخلی برخی کشورها را تشکیل می‌دهد و فرصت شغلی بسیاری هم ایجاد می‌کند.

مدیران شهری می‌گویند تهرانی‌ها هر دقیقه ۶ تن زباله تولید می‌کنند. بر این اساس، به‌طور میانگین روزانه هفت تا ۹ هزار تن پسماند در شهر تهران تولید می‌شود که از این مقدار، هفت هزار تن از پسماند روزانه، تر و ۲ هزار تن، خشک است (http://pasmand.tehran.ir).

پسماند

این اصطلاح به‌طور معمول به انواع زباله مربوط می‌شود؛ خواه در هنگام استخراج مواد اولیه، فرآوری مواد اولیه به محصولات واسطه‌ای و نهایی، مصرف محصولات نهایی یا سایر فعالیت‌های انسانی اعم از شهری، کشاورزی و

اجتماعی. مدیریت پسماند برای کاهش اثرات نامطلوب زباله بر سلامت، محیط‌زیست یا زیبایی‌شناسی در نظر گرفته شده است. مدیریت پسماند یکی از اصلی‌ترین مشکلاتی است که جهان بدون در نظر گرفتن کشور توسعه‌یافته یا درحال‌توسعه با آن روبرو است. مسئله‌ی اصلی در مدیریت پسماند این است که سطل زباله در اماکن عمومی قبل از شروع فرآیند تمیز کردن، سرریز می‌شود. این به‌نوبه‌ی خود منجر به خطرات مختلفی ازجمله بوی بد و ظاهر زشت مکان می‌شود که می‌تواند دلیل اصلی شیوع بیماری‌های مختلف باشد. افزایش جمعیت منجر به تخریب فوق‌العاده‌ای در وضعیت بهداشت و درمان با توجه به سامانه‌ی مدیریت پسماند شده است. سرریز زباله در مناطق مدنی باعث ایجاد شرایط آلوده در مناطق همجوار می‌شود. برای از بین بردن یا کاهش زباله‌ها و حفظ نظافت، به سامانه‌ی مدیریت پسماند مبتنی بر هوشمندی نیاز است. نیاز به مدیریت صحیح زباله فقط با جمع‌آوری و دور ریختن زباله به پایان نمی‌رسد بلکه به سطح محل‌های دفن زباله و مقداری که احتمالاً می‌توانیم بازیافت کنیم، ادامه می‌یابد. علاوه بر کاهش زباله‌ها و دفن زباله‌های بعدی، تخریب بازیافت بسیار مفید است. پس از انجام بازیافت برای مرتب کردن فلزات، پلاستیک‌ها و مواد شیشه‌ای، استفاده از ضایعات زیست‌تخریب‌پذیر قابل‌تبدیل به کود یک اقدام مؤثر است. فلزات قابلیت استفاده‌ی مجدد دارند و پلاستیک‌ها را می‌توان از محل دفن زباله‌ها حذف کرد که در غیر این صورت منجر به خفگی زمین می‌شود. مواد شیشه‌ای را می‌توان شکست و دوباره ذوب کرد تا محصول جدیدی از آن‌ها ساخته شود (Kumar et al., 2019).

زباله‌های حاصل از اقشار مختلف جامعه را می‌توان با توجه به ترکیب آن (خصوصیات بدنی) و مقصد طبقه‌بندی کرد. این طبقه‌بندی اساسی است زیرا مجموعه‌ی انتخابی، بازیافت و تعریف مناسب‌ترین هدف را تسهیل می‌کند. این زباله‌های جامد که توسط شهرداری‌های شهری دور ریخته می‌شوند، نشان‌دهنده‌ی حجم بسیار ناهمگن ماده و همچنین، بار همگن تر زباله‌های صنعتی و بیمارستانی هستند (Sathish & Prabhakaran, 2011). در حال حاضر، یک مجموعه‌ی انتخابی، پایه‌ای برای مدیریت صحیح زباله و روش اصلی است که هنگام بازیافت هدف در سراسر جهان اتخاذ می‌شود.

برای یک سامانه‌ی مدیریت پسماند مبتنی بر اینترنت اشیاء، ضروری است که طبقه‌بندی از ابتدا انجام شود؛ بنابراین، باید ظروف خاص برای هر نوع زباله در نظر گرفته شود. به‌عنوان نمونه، جمع‌آوری زباله‌های جامد در لندن، مطابق با الزامات جمع‌آوری انتخابی انجام می‌شود؛ از کیسه‌های زباله یا ظروف رنگی مختلف مانند زباله‌های سمی به رنگ قرمز استفاده می‌کند. زباله‌های بیمارستانی به رنگ زرد، زباله‌های بیمارستانی پس از ضدعفونی به رنگ آبی، زباله‌ی خانگی سیاه، بطری‌های شیشه‌ای با توجه به نوع و رنگ آن‌ها به گروه‌های سبز، سیاه و قهوه‌ای تقسیم می‌شوند و در ظروف مختلف قرار می‌گیرند (Sathish & Prabhakaran, 2011). سپس، انواع مختلف زباله در نظر گرفته شده که به شرح زیر شرح داده می‌شود:

زباله‌های آلی- حاصل زباله‌های آلی است. آن‌ها عمدتاً در اقامتگاه‌ها، رستوران‌ها و مراکز تجاری که با غذا کار می‌کنند، تولید می‌شوند. این زباله‌ها باید از انواع دیگر زباله‌ها جدا شوند زیرا بیشتر آن‌ها به محل دفن زباله‌های شهری منتهی می‌شوند.

زباله‌ی قابل بازیافت- همه ضایعاتی که می‌توانند در فرآیند تبدیل به عناصر دیگر یا در ساخت مواد اولیه مورد استفاده قرار گیرند. در اقامتگاه‌ها، شرکت‌ها و صنایع تولید می‌شوند و باید از هم جدا شوند تا تیم‌های انتخابی مجموعه جمع شوند و سپس در تعاونی‌ها و شرکت‌های بازیافت به پردازش نهایی تحویل دهند.

ضایعات صنعتی- عمدتاً جامد هستند که منشأ فرایند تولید در صنایع است. معمولاً توسط مواد اولیه‌ی باقیمانده برای بازیافت یا استفاده‌ی مجدد در فرآیند صنعتی تشکیل می‌شود.

زباله‌های بیمارستانی- این زباله‌ها در بیمارستان‌ها و کلینیک‌های پزشکی ایجاد شده و می‌توانند آلودگی و انتقال بیماری‌ها را به افرادی که با آن ارتباط برقرار می‌کنند، منتقل کنند. باید با توجه به استانداردهای تعیین‌شده و با همه‌ی مراقبت‌های لازم انجام شود. این نوع زباله برای شرکت‌هایی که در تصفیه‌ی چنین زباله‌هایی تخصص دارند، در جایی که معمولاً سوزانده می‌شوند، در نظر گرفته شده است.

زباله‌های تجاری- مربوط به مؤسسات تجاری مانند فروشگاه‌های پوشاک، اسباب‌بازی‌ها. وسایل این ضایعات تقریباً به‌طور کامل برای بازیافت است.

پسماند سبز- موادی است که به‌طور عمده ناشی از هرس درختان، شاخه‌ها، تنه‌ها، پوست درختان و برگ‌هایی است که در خیابان‌ها سقوط می‌کنند. ازآنجاکه این مواد، آلی هستند، می‌توانند برای کمپوست و تولید کود آلی استفاده شوند.

ضایعات الکترونیکی- ضایعات حاصل از دفع محصولات الکترونیکی مصرفی که دیگر کار نمی‌کنند یا منسوخ شده‌اند. برای دفع، مکان‌های مناسب ازجمله به‌عنوان شرکت‌ها و تعاونی‌هایی که در زمینه‌ی بازیافت فعالیت می‌کنند. آن‌ها این زباله‌ها را به روشی از بین می‌برند که خسارت‌هایی به محیط‌زیست وارد نشود.

پسماند هسته‌ای- به‌طور عمده توسط نیروگاه‌های هسته‌ای تولید می‌شود. یک زباله‌ی بسیار خطرناک است زیرا یک عنصر رادیواکتیو است و باید مطابق با استانداردهای ایمنی دقیق حذف شود (Yanling & Fjældhøj, 2015).

مدیریت پسماند به دلیل آلودگی محیط‌زیست و پر شدن زمین یکی دیگر از موارد مهم در شهرهای هوشمند مدرن است. هدف اصلی مدیریت پسماندهای هوشمند، تسریع در فرآیندهای جمع‌آوری و جداسازی است (http://nobka.ir).

مدیریت هوشمند پسماند جامد با استفاده از اینترنت اشیاء

چندین مقاله‌ی منتشرشده، جنبه‌های مختلف فناوری اینترنت اشیاء برای راه‌حل‌های مدیریت پسماند را در بر می‌گیرد. به‌عنوان‌مثال، در "رویکردی برای نظارت بر برنامه‌ریزی هوشمند مدیریت پسماند جامد شهری" (Catania & Ventura, 2014)، نویسندگان راه‌حلی را ارائه می‌دهند که با نظارت هوشمندانه، امکان برنامه‌ریزی برای جمع‌آوری زباله را فراهم می‌آورد. اجرای این کار از طریق یک پلتفرم Smart-M3، سهولت امکان تعامل برنامه‌ها از حوزه‌های مختلف اطلاعات و ارتباطات را امکان‌پذیر می‌کند. راه‌حل در دو مرحله، توسعه یافته است؛ مرحله‌ی اول یک مرحله‌ی نظارت است که میزان ضایعات داخل محفظه‌ها به‌طور مداوم اندازه‌گیری، انتقال و ذخیره می‌شود. مرحله‌ی دوم فازی است که در آن محاسبه‌ی اطلاعات جمع‌آوری‌شده برای بهینه‌سازی مسیرهای جمع‌آوری زباله مورد استفاده قرار می‌گیرد (http://nobka.ir). در "چالش‌ها و فرصت‌های مدیریت پسماند بر اساس اینترنت اشیاء در شهرهای هوشمند (Anagnostopoulos et al., 2017)، نویسندگان از طریق مجموعه خدمات زیرساختی برای شهرهای هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء با استفاده از سنسورها، فرکانس پرتونگاری (RFID) و محرک‌ها در فرآیند نظارت بر شناسایی، به مدلی برای مدیریت زباله پرداخته‌اند. این مدل شامل سه مرحله است؛ (۱) برنامه‌ریزی و اجرای جمع‌آوری زباله با استفاده از راه‌حل‌های مسیریابی در کامیون‌ها با سازگاری پویا از مسیرها مطابق محدودیت‌های معرفی‌شده، (۲) حمل و انتقال پسماند به یک مکان خاص با توجه به نوع زباله و (۳) بازیافت زباله‌هایی که قابل استفاده‌ی مجدد هستند. در "مدیریت هوشمند ابری پسماند برای شهرهای هوشمند"، نویسندگان راهکاری را برای مدیریت پسماندهای هوشمند مبتنی بر ابر (Cloud SWAM) ارائه می‌دهند. این یک راه‌حل با ظروف خاص برای هر نوع زباله‌ی (ارگانیک، پلاستیکی، بطری و فلز) مجهز به سنسورهایی است که دائماً وضعیت خود را بر روی ابر رصد و به‌روز می‌کنند؛ جایی

که مسئولان به آن متصل می‌شوند تا اطلاعات مورد علاقه‌ی خود را از ابر دریافت کنند. این سامانه نه‌تنها در مدیریت پسماند بلکه در تصمیم‌گیری برای بهترین مسیر جمع‌آوری نیز عمل می‌کند و مسیر اقتصادی بیشتری را در کلان‌شهرها ردیابی می‌کند (Aazam et al., 2016).

در مقاله‌ی مدیریت بی‌سیم و هوشمند پسماند، راه‌حلی برای مسئله‌ی دفع زباله‌هایی که به‌موقع تمیز نمی‌شوند و به سرریز می‌رسند، پیشنهاد شده است. این سامانه، با پایش زباله‌ها زنگ خطر را ایجاد می‌کند و به افراد مجاز اطلاع می‌دهد که ظروف آماده‌ی پر شدن هستند. این قابلیت با سامانه‌ی غربالگری از طریق طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک (NIR) میسر می‌شود که پنج نوع رزین پلاستیکی را شناسایی نموده و باقیمانده‌ی ضایعات تجزیه‌ی تخریب‌پذیر به مقصد می‌رسد (Thakker & Narayanamoorthi, 2015).

معماری سامانه‌ی مدیریت هوشمند پسماند

برای استانداردسازی این بخش از اینترنت اشیاء، نیاز به پشتیبانی از یک مدل معماری مرجع بسیار مهم است. بسیاری از مدل‌های پروژه بر روی یک معماری معمولی مبتنی بر تجزیه‌وتحلیل نیازها یا بر روی برخی لایه‌ها متمرکز شده‌اند که الگوی اساسی معماری مرجع را تشکیل می‌دهند. حتی با یک معماری انعطاف‌پذیر، هنوز هم چالش‌های مربوطه به‌خصوص امنیت و حریم خصوصی وجود دارد؛ بنابراین، برای غلبه بر این چالش‌ها، باید معماری‌های استاندارد جدید با تمرکز بر فاکتورهای مهمی مانند QoS، پایداری، یکپارچگی داده‌ها، محرمانگی و قابلیت اطمینان ارائه شود. در مرحله‌ی بعد، بحث مختصری در مورد این لایه‌ها وجود دارد که به‌نوبه‌ی خود، بین مدل‌های ارائه‌شده متناوب است.

لایه‌ی ادراک- لایه‌ی درک معماری اینترنت اشیاء مشابه لایه‌ی فیزیکی مدل سامانه‌های باز اتصال داخلی[1] است زیرا بر اساس سطح سخت‌افزار ساخته شده است و وظیفه‌ی جمع‌آوری اطلاعات فیزیکی، پردازش و انتقال آن‌ها به لایه‌های بالایی را از طریق کانال‌های امن بر عهده دارد. این لایه با کاربرد فناوری علاوه بر جمع‌آوری داده‌های شناسایی شیء مانند کدهای پاسخ سریع[2] (کدهای QR) و RFID، از طریق شناسایی سنسورهای خاص ازجمله وزن، دما، رطوبت و غیره عمل می‌کند.

لایه‌ی شبکه- لایه‌ی شبکه وظیفه‌ی انتقال اطلاعات اندازه‌گیری‌شده در لایه‌ی ادراک را به لایه‌های بالایی، جایی که سامانه‌های پردازش در آن قرار دارند، بر عهده دارد. این لایه از ZigBee، Z-wire، GSM، UMTS، Wi-Fi، مادون قرمز و 6LoWPAN استفاده می‌کند. علاوه بر وظایف اصلی، لایه‌ی شبکه نیز فرآیند محاسبات ابری و فرایند مدیریت داده را انجام می‌دهد.

میان‌افزار- لایه‌ای از نرم‌افزار یا حتی مجموعه‌ای از زیرلایه‌ها است که برای اتصال داخلی اجزاء اینترنت اشیاء کار می‌کند و امکان برقراری ارتباط در صورت عدم حضور آن ممکن نخواهد بود؛ یعنی یک مترجم وجود ندارد. علاوه بر فراهم کردن هم‌زمانی به‌گونه‌ای که لایه‌ی کاربردی بتواند با لایه‌ی ادراک در تعامل باشد و از ارتباط مؤثر اطمینان حاصل کند، نقش مهمی در توسعه‌ی فناوری‌های جدید دارد.

لایه‌ی برنامه- لایه‌ی برنامه مستقیماً در ساخت معماری اینترنت اشیاء کمک نمی‌کند اما در لایه‌ای قرار دارد که رابط خدمات مختلف ساخته‌شده با کاربران است؛ یعنی جایی که تفسیر و در دسترس بودن اطلاعات رخ می‌دهد.

لایه‌ی کسب‌وکار- این لایه وظیفه‌ی مدیریت کل سامانه‌ی اینترنت اشیاء را شامل برنامه‌های مربوط به سرویس مانند تهیه‌ی گزارش آنالیز سطح بالا از لایه‌های زیرین و همچنین، پرداختن به حریم شخصی کاربران، بر عهده دارد. مسئولیت ایجاد نمودارها و مدل‌های تجاری را می‌توان به این لایه نسبت داد.

1. open systems interconnection
2. quick response codes

پروتکل‌های استاندارد سامانه‌های مدیریت پسماند

اینترنت اشیاء برای رسیدگی به طیف گسترده‌ای از فعالیت‌ها مانند پروتکل‌های جمع‌آوری داده‌های سنسور، پروتکل‌های ارتباطی و غیره، به پروتکل‌های مختلفی احتیاج دارد. کارگروه‌های مختلف مانند مؤسسه‌ی مهندسان برق و الکترونیک[۱]، کارگروه مهندسی اینترنت[۲]، کنسرسیوم جهانی[۳] و مؤسسه‌ی استاندارد ارتباطات از راه دور اروپا[۴] تلاش‌هایی را برای تهیه‌ی پروتکل‌های پشتیبانی استاندارد برای اینترنت اشیاء انجام داده‌اند. برای یک راه‌حل مدیریت زباله‌ی مبتنی بر اینترنت اشیاء، همه پروتکل‌های شرح داده‌شده در زیر نیازی به مشارکت ندارند اما اصلی‌ترین و پرکاربردترین آن‌ها در متن اینترنت اشیاء است. شرح مختصر آن‌ها با توجه به ویژگی‌های اصلی آن‌ها در هر لایه مانند کاربرد، کشف سرویس و پروتکل‌های زیرساخت شبکه ارائه می‌شود.

۱- پروتکل‌های لایه‌ی برنامه[۵]

در لایه‌ی برنامه، پروتکل‌ها برای ارتباط کاربر نهایی استفاده می‌شوند و معمولاً در راه‌حل‌های میان‌افزار برای اینترنت اشیاء یکپارچه هستند. برنامه‌های کاربردی کاربر نهایی سامانه‌ها را ردیابی می‌کنند، به این معنی که آن‌ها می‌توانند مستقیماً با لایه‌های پایین طبقه‌ی پروتکل ارتباط برقرار کنند، مانند سرورهای وب که به‌طور گسترده در ادغام سامانه و ارتباط بین برنامه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند و همچنین، پروتکل کاربرد محدود[۶]، انتقال از راه دور پیام[۷]، پروتکل حضور گسترده‌ی پیام‌رسانی[۸]، پروتکل تنظیم پیشرفته‌ی پیام[۹]، خدمات توزیع داده[۱۰].

۲- پروتکل‌های کشف خدمات[۱۱]

با توجه به تعداد زیاد دستگاه‌های متصل‌شده و نیاز به اطمینان از عملکرد صحیح برنامه‌های توسعه‌یافته برای سامانه‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء، یک مکانیسم مدیریت منابع برای پوشش عالی این فناوری ضروری است؛ بنابراین، سامانه باید قادر به کشف منابع و ثبت خدمات به‌صورت خودکار باشد که می‌توان پروتکل ثبت دامنه‌ی چندکاره و کشف سرویس ثبت دامنه را نام برد.

پروتکل زیرساخت[۱۲]

پروتکل‌های زیرساختی، ارتباط بین دستگاه‌ها و شبکه را فراهم می‌کنند، یعنی آن‌ها مبتنی بر اتصال بین انواع مختلف سامانه‌ها و دستگاه‌ها هستند که ممکن است از انواع مختلف داده‌ها استفاده کنند و در مسافت‌های قابل‌توجهی پخش شوند. درنتیجه، اینترنت گزینه‌ی ارتباطی بین آن‌ها است.

- پروتکل مسیریابی[۱۳]. پروتکل مسیریابی برای شبکه‌های کم‌مصرف با هدف پشتیبانی از حداقل الزامات مسیریابی با در نظر گرفتن همیشگی یک توپولوژی قوی، هنگامی‌که شبکه با محیط‌هایی مواجه می‌شود که

1. Institute of electrical and electronic engineers (IEEE)
2. Internet engineering task force (IETF)
3. World wide web consortium (W3C)
4. European telecommunications standards institute (ETSI)
5. application layer protocols
6. Constrained application protocol (COAP)
7. Message queue telemetry transport (MQTT)
8. Extensible messaging presence protocol (XMPP)
9. Advanced message wueuing protocol (AMQP)
10. Data distribution service (DDS)
11. DNS service discovery (DNS-SD)
12. infrastructure protocols
13. routing protocol

پیوندها تحت تأثیر زیادی از اختلالات هستند، ایجاد شده است. تحویل ترافیک از ساده‌ترین (نقطه به نقطه) به پیچیده‌تر (نقطه به چند نقطه و چند نقطه به نقطه) را تضمین می‌کند.

- پروتکل لایه‌ی سازگاری شبکه[1]- LowPAN6. شبکه‌های بی‌سیم ناحیه‌ی شخصی به‌وسیله‌ی تفاوت‌هایشان با فناوری‌های لایه‌ی پیوند قدیمی‌تر مانند اندازه‌ی بسته محدود (۱۲۷ بایت برای IEEE 802.15.4) مشخص می‌شوند. این تفاوت در طول بسته برای اطمینان از پهنای باند پهن موردنیاز است.
- پروتکل لایه پیوند[2]- IEEE 802.15.4. این پروتکل لایه‌ی فیزیکی[3] و زیرلایه‌ی کنترل دسترسی متوسط[4] را در شبکه‌های خصوصی بی‌سیم با سرعت پایین (LR-WPAN) مشخص می‌کند.

پروتکل‌های لایه‌های فیزیکی[5]

بلوتوث با انرژی کم[6]- در مقایسه با نسخه‌های قبلی، بلوتوث هوشمند از امواج رادیویی با برد کوتاه تا ۱۰۰ متر استفاده می‌کند (ده برابر بیشتر از بلوتوث قدیمی) و پوشیدگی کندتر تا ۱۵ لایه را تضمین می‌کند.

رمز محصول الکترونیکی[7]- یک فناوری است که در آن یک شماره‌ی شناسایی فردی در یک برچسب RFID که در مدیریت زنجیره‌ی تأمین برای شناسایی اقلام استفاده می‌شود، ذخیره می‌شود.

سامانه جهانی ارتباطات موبایل/خدمات بسته امواج رادیویی[8]- شبکه‌های GSM به‌عنوان تکامل سامانه‌های ارتباطی تلفن همراه نسل اول گسترش یافتند.

دسترسی چندگانه‌ی کد تقسیم پهن‌باند[9]- خدمات بسته‌ی داده‌ی با سرعت بالا را انجام می‌دهد و امکان استفاده‌ی کارآمدتر از طیف را فراهم می‌کند که سرعت انتقال بالاتری تا ۲ مگابیت در ثانیه را فراهم می‌کند. دسترسی چندگانه‌ی کد تقسیم پهن‌باند از دسترسی به خدمات مبتنی بر اینترنت مانند خدمات خط ثابت پشتیبانی می‌کند.

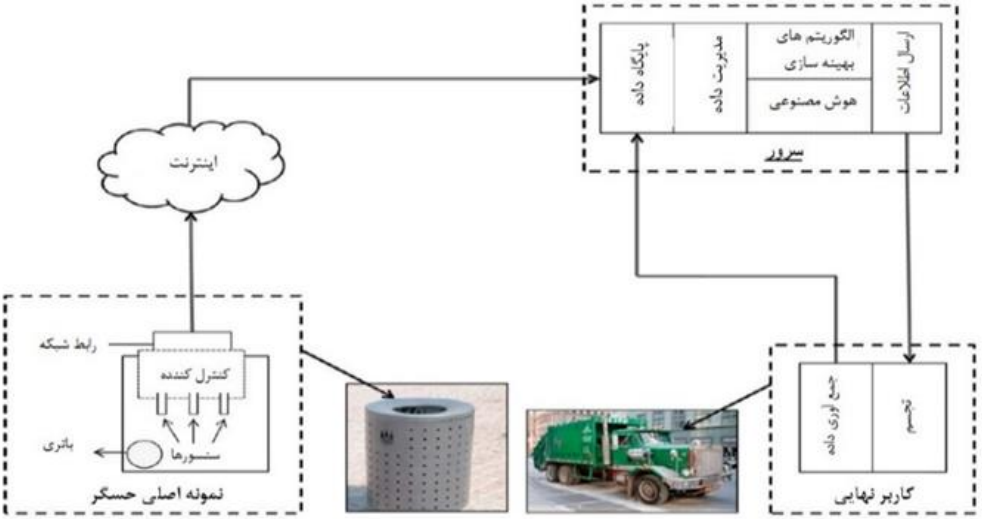
تکامل طولانی‌مدت بلند پیشرفته[10]- شامل مجموعه‌ای از پروتکل‌های ارتباطی است که به‌خوبی در زیرساخت‌های ارتباطی نوع ماشین (MTC)، ارتباطات ماشین-ماشین که نیازی به دخالت انسان نداشته باشد و به‌ویژه برای شهرهای هوشمند که دوام طولانی‌مدت زیرساخت‌ها از آن انتظار می‌رود، استفاده می‌شود(Gutierrez et al., 2015).

سامانه‌ی پیشنهادی مدیریت هوشمند پسماند

سامانه‌ی جمع‌آوری زباله‌ی پیشنهادی بر اساس داده‌های سطح زباله از سطل زباله در یک کلان‌شهر است. داده‌های جمع‌آوری‌شده توسط حسگرها از طریق اینترنت به سروری که در آن ذخیره و پردازش می‌شود، ارسال می‌شود. سپس از داده‌های جمع‌آوری‌شده برای نظارت و بهینه‌سازی انتخاب روزانه‌ی سطل زباله‌هایی که باید جمع‌آوری شوند، استفاده می‌شود و مسیرها را نیز محاسبه می‌کند. هر روزه، کارگران مسیرهای محاسبه‌شده جدیدی را در دستگاه‌های راه‌یابی خود دریافت می‌کنند. ویژگی اصلی این سامانه این است که برای یادگیری از تجربه و تصمیم‌گیری نه‌تنها در مورد وضعیت سطح ضایعات روزانه بلکه در مورد پیش‌بینی وضعیت آینده، ترافیک، توابع متعادل هزینه و کارایی و سایر عوامل مؤثری که انسان‌ها نمی‌توانند پیش‌بینی کنند، بهره می‌برد. میزان سرعت پر شدن سطل آشغال‌ها را می‌توان

1. Routing protocol for low power lossy networks (RPL)
2. link layer protocol
3. Physical layer (PHY)
4. Medium access control (MAC)
5. physical layer protocols
6. Bluetooth low energy (BLE)
7. Electronic product code (EPC)
8. Global system for mobile communications/general packet radio services (GSM/GPRS)
9. Wideband code division multiple access (WCDMA)
10. Long term evolution-advanced (LTE-A)

بر اساس داده‌های تاریخی تجزیه‌وتحلیل کرد تا سرریزی آن‌ها قبل از وقوع پیش‌بینی شود. انتظار می‌رود انتخاب بهینه‌ی سطل‌های زباله، بسته به الزامات از پیش تعریف‌شده‌ی اقتصادی، باعث کاهش هزینه‌ها، بهبود کارایی جمع‌آوری و یا هر دو شود شکل (۳) (Gutierrez et al., 2015).



شکل ۳. نمای کلی سامانه‌ی جمع‌آوری زباله‌های هوشمند

گام‌هایی برای دستیابی به شهر دانش

شهرهای هوشمند، درنهایت باید به‌عنوان بستری برای دستیابی به شهر دانش مورد استفاده قرار گیرند. در غیر این صورت، شهر از معنی تهی شده و جای مناسبی برای زیست نخواهد بود. به همین دلیل، جریان شهر هوشمند باید رهنمودهای دستیابی به شهر دانش را به‌عنوان بخش لاینفک هرگونه اقدام در زمینه‌ی شهر هوشمند قرار دهد. اما واقعیت این است که اجرای واقعی شهرهای هوشمند در تمام مراحل طراحی، اجرا و بهره‌برداری به چالش کشیده شده است. هزینه‌ی طراحی و بهره‌برداری، ناهمگونی در بین دستگاه‌ها، جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل داده‌های عظیم، امنیت اطلاعات و پایداری برخی از چالش‌های اساسی است. شکل (۴) چند چالش اصلی را در طراحی یک شهر هوشمند واقعی نشان می‌دهد.

شکل ٤. چالش‌های رایج اجرای عملی شهرهای هوشمند

طراحی و هزینه‌ی نگهداری یکی از مهم‌ترین چالش‌های اجرای واقعی شهر هوشمند است. هزینه به‌عنوان هزینه‌ی طراحی و هزینه‌ی عملیاتی طبقه‌بندی می‌شود. هزینه‌ی طراحی یک سرمایه‌ی مالی برای استقرار شهر هوشمند است. ازاین‌رو، هرچه هزینه‌ی طراحی کوچک‌تر باشد، احتمال اجرای دنیای واقعی بیشتر است. هزینه‌های عملیاتی به دلیل عملیات روزمره در شهر و وظایف نگهداری آن ایجاد می‌شود. حداقل هزینه‌های عملیاتی برای اطمینان از پایداری ارائه‌ی خدمات بدون بار مالی اضافی برای شهرداری‌ها بسیار موردنیاز است. بااین‌حال، بهینه‌سازی هزینه در طول زندگی یک شهر هوشمند هنوز یک کار کاملاً چالش‌برانگیز است.

ناهمگونی، یکی دیگر از نگرانی‌های مهم معماری‌های شهر هوشمند است. شهرهای هوشمند از حسگرهای چند فروشنده و چندمنظوره‌ی لوازم، دستگاه‌ها و غیره تشکیل شده است. تحقق مفهوم شهر هوشمند به توانایی ادغام همه‌ی این موارد ناهمگن در لایه‌ی کاربرد متکی است. بااین‌حال، ناسازگاری سامانه‌ی عامل ناشی از ناهمگونی مانع از توانایی ادغام و تعامل در لایه‌ی برنامه است. اگرچه تسهیل دسترسی جهانی یک کار خسته‌کننده و چالش‌برانگیز است اما شهرهای هوشمند بر طراحی، شناسایی و خرید سخت‌افزار و نرم‌افزار متمرکز شده‌اند که باعث جمع‌آوری این سامانه‌های فرعی ناهمگن می‌شود. گرچه امنیت بالا، هزینه‌های اضافی را برای طراحی و نگهداری به همراه دارد اما امنیت زیرساخت‌ها و امنیت اطلاعات در شهرهای هوشمند بسیار بالا می‌رود. پیشرفت‌های تکنولوژیکی، تحولات انقلابی را در شهرهای بزرگ جهان ایجاد می‌کند. شهرها فناوری را برای بهبود زندگی ساکنان، بازدیدکنندگان و مشاغل تطبیق داده‌اند. با این وجود، رشد موازی فناوری و تهدیدهای مخرب باعث جنجال بزرگی در مورد امنیت شهرهای هوشمند و عملیات آن‌ها از حملات احتمالی شده است. حمله به یک سامانه‌ی مدیریت شهری (CMS) که هماهنگی هزاران وظیفه را انجام می‌دهد، طیف گسترده‌ای از گزینه‌ها را برای ایجاد عوارض جانبی فراهم می‌کند. ازاین‌رو، امنیت زیرساختی و امنیت اطلاعات در شهرهای هوشمند بسیار اعمال می‌شود؛ اگرچه امنیت بالا، هزینه‌های اضافی در طراحی و نگهداری را به دنبال دارد. شبکه‌ی شهری، داده‌های متنوعی ازجمله داده‌های بسیار حساس شهروندان را جمع‌آوری می‌کند که در برابر تهدیدات امنیتی بی‌شمار ازجمله کانال‌های جانبی، اسکریپت درون سایت و نشت داده‌ها آسیب‌پذیر هستند (Pardini & Rodrigues, 2019).

ازاین‌رو، حریم خصوصی داده‌ها یکی دیگر از ویژگی‌های مهم ساختار شهری هوشمند است. در حقیقت، حریم خصوصی، اعتماد و محرمانه بودن داده‌ها با یک هزینه همراه هستند. شهروندان با خدمات اصلی شهری هوشمند از طریق تلفن‌های هوشمند رایانه‌ای و سایر دستگاه‌های هوشمند ارتباط برقرار می‌کنند. مدیریت مسائل مربوط به حریم خصوصی به‌عنوان‌مثال استراق سمع ضروری است؛ بنابراین، حفظ این اقدامات امنیتی برای اطمینان از امنیت داده‌های شهروندان، به یک کار بسیار چالش‌برانگیز و اساسی تبدیل شده است. درنتیجه، تولید بی‌وقفه‌ی داده‌ها از تعداد دستگاه‌های بی‌شمار، باعث رشد فوری و نمایی حجم داده‌های شهر هوشمند می‌شود. به همین دلیل، انتقال، ذخیره، فراخوان و تجزیه‌وتحلیل بخش عمده‌ای از داده‌ها برای عملکرد بدون وقفه و یکپارچه‌ی یک شهر هوشمند بسیار حیاتی است. شهرهای هوشمند آرزو می‌کنند قلمروهای جدید و راهبردهای جذاب را برای مقابله با تولید و تجزیه‌وتحلیل داده‌های بزرگ خود کشف کنند.

حفظ محیط‌زیست و منابع شهری برای نسل‌های آینده با حداقل‌سازی ردپای کربن و استفاده‌ی بهینه از منابع، نگرانی‌های کلیدی شهرهای هوشمند مدرن است؛ بنابراین، شهرهای مدرن درعین‌حال که از پایداری عملیات شهرها و انرژی‌های تجدیدناپذیر اطمینان حاصل می‌کنند، بر روی منابع انرژی تجدیدپذیر برای کاهش ردپای کربن متمرکز هستند. به دلیل اهمیت استفاده از انرژی، حفظ پایداری و کاهش ردپای کربن، انجمن مسئولان دارای قدرت لندن[1]

1. Greater london authority (GLA)

به‌طور گسترده در مورد افزایش کارایی شبکه‌های قدرت لندن (در فرصت‌های هوشمند اجلاس لندن) بحث کرده‌اند. مدیریت پسماند به دلیل آلودگی محیط‌زیست و پر شدن زمین یکی دیگر از موارد مهم در شهرهای هوشمند مدرن است. هدف اصلی مدیریت پسماندهای هوشمند، تسریع در فرآیندهای جمع‌آوری و جداسازی است (ARUP, 2016). انجمن لندن اظهار داشت کمبود منابع و رشد جمعیت، از اصلی‌ترین موضوعاتی است که باید برای رویه‌های موفق مدیریت زباله مورد توجه قرار گیرد.

همچنین، مدیریت شکست یک نگرانی اساسی برای هر پروژه‌ی توسعه‌ی شهری هوشمند است. خرابی می‌تواند به دنبال وقوع بلایای طبیعی یعنی سیل، زلزله، گردباد و غیره یا خرابی سامانه مانند خرابی زیرساخت‌ها و در دسترس نبودن شبکه رخ دهد. طراحی پایداری، راهبردهای بازیابی فوری را برای غلبه بر یک شکست و بازگرداندن عملیات شهر به حالت عادی تعریف می‌کند. با این وجود، شناسایی و اجرای راهبردهای بازیابی و راهبردهای تحمل کاستی یا خطا هم هزینه‌ی طراحی و هم هزینه‌ی عملیاتی را افزایش می‌دهد. چالش این است که مکانیسم‌های بازیابی نقص با کمترین تأثیر بر هزینه و کارایی عملیاتی به کار رود (Bhagya Nathali et al., 2018).

نتیجه‌گیری

شهر هوشمند به دلیل دیدگاه کلی‌نگرانه‌ی خود، از ویژگی‌های ویژه‌ای برخوردار است. به عبارت دیگر، شهر هوشمند به‌عنوان ترکیبی از اشکال دیگر راهبردهای مدیریت محیط‌زیست شهری عمل می‌کند. چنانچه در راه‌اندازی شهر هوشمند، دستیابی به شهر دانش در سرلوحه‌ی برنامه‌ها قرار نگیرد، امکان دستیابی به زندگی بهتر در شهرهای ماشینی‌شده وجود نخواهد داشت.

شهر هوشمند سامانه‌ای است که قابلیت همکاری بین سامانه‌های فرعی مختلف را برای بهبود کیفیت زندگی شهروندان شهری تسهیل می‌کند. اگرچه شهرهای هوشمند در دنیای مدرن به یک کلمه‌ی کلیدی تبدیل شده‌اند، به دلیل تقاضاهای پردازش فوق‌العاده‌ی داده‌ها و ناهمگونی اشیاء هوشمند مرتبط، هنوز با چالش‌ها و مشکلات جدی روبرو هستند.

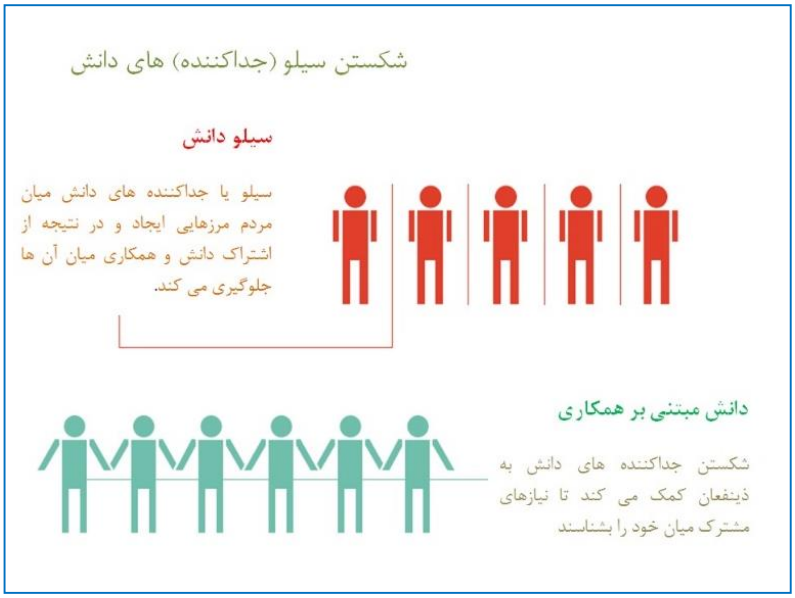
مفهوم شهر هوشمند همچنان در حال تحول است و آزمایش و اجرای آن در محدوده‌ی کشورهای توسعه‌یافته محدود شده است. اعمال فرایندهای مدیریت دانش در لایه‌های مختلف مدیریت شهری می‌تواند با تکیه بر دانش بومی، سهم کشورهای درحال‌توسعه از شهرهای هوشمند را ارتقاء بخشد. چنین فرایندی، دستیابی به شهر دانش را تسهیل خواهد کرد.

دستگاه‌های هوشمند حجم عظیمی از داده‌ها را تولید می‌کنند که به منابعی برای ذخایر بزرگ داده نیاز دارند. درنتیجه‌ی تولید داده‌های کلان، روش‌های معمول پردازش داده برای استفاده در معماری‌های مدرن شهر هوشمند منسوخ شده‌اند. ازاین‌رو، کشف و ادغام تجزیه‌وتحلیل داده‌های کلان در محیط‌های شهر هوشمند ضروری است. در حقیقت، مطالعات کمی سعی در حل این چالش داشتند. بسیاری از راهکارهای ارائه‌شده نیز در سطح پیشنهادات باقی مانده و در سناریوهای دنیای واقعی آزمایش نشده‌اند؛ بنابراین، تحلیل و آزمایش داده‌های کلان در شهرهای هوشمند واقعی یک فرصت تحقیق امیدوارکننده برای شهرهای هوشمند آینده است. حفظ امنیت داده‌های حساس در محیط‌های متصل موردنیاز است. اگر شهروندان در مورد امنیت داده‌های حساس قانع نشوند، تمایلی به استفاده از پلتفرم فاوا در شهرهای هوشمند ندارند که این امر مانع پایداری و قابلیت اطمینان عملیات شهرها می‌شود. درنتیجه، یکی از مهم‌ترین مراحل آماده‌سازی جامعه برای استفاده از وسایل هوشمند، آموزش مردم، فرهنگ‌سازی و مدیریت دانش شهری است.

پیشنهادات اجرایی

۱- استفاده از متخصصان مدیریت دانش در جهت شکستن سیلوهای دانش

علاوه بر توسعه و ادغام فناوری‌های جدید و هوشمند در یک سامانه‌ی شهر هوشمند، شهر هوشمند نیاز به ایجاد شیوه‌های جدید مدیریتی دارد. بخش اعظم دانش لازم برای ایجاد راه‌حل‌های شهر هوشمند در "سیلوهای دانش" مختلف جمع‌آوری شده است. این سیلوها غالباً از یکدیگر جدا می‌شوند تا دانش یک نفر به نفع دیگری نباشد. این یکی از دلایلی است که بسیاری از فناوری‌ها قادر نیستند در یک سامانه‌ی شهر هوشمند واحد کار کنند زیرا در حوزه‌های جداگانه توسعه یافته‌اند. برای اینکه در آینده، راه‌حل‌های چندمنظوره‌ی شهر هوشمند توسعه یابد، این سیلوهای دانش باید باز و یکپارچه شوند.



شکل ۵. از بین بردن سیلوهای دانش و اشتراک‌گذاری آن

۲- ایجاد مدل‌های تجاری یکپارچه

چالش در این موضوع، پیدا کردن راه‌هایی برای امکان همکاری بین ذی‌نفعان مختلف شهر بدون به خطر انداختن پتانسیل ایجاد ارزش آن‌ها است. برای غلبه بر این چالش، طرز تفکر کاملاً جدید "تفکر شهر هوشمند" لازم است. این الگوی جدید مستلزم توسعه‌ی مدل‌های تجاری جدیدی است که ذی‌نفعان مختلف را قادر می‌سازد منافع خود را تراز نموده و در یافتن هوشمندانه‌ترین راه‌حل‌ها همکاری کنند. رئیس بخش دپارتمان امور بین‌الملل و توسعه‌ی پایدار شهر کپنهاگ، نمونه‌ای از این پرونده را ارائه می‌دهد که در آن می‌توان منافع سهامداران مختلف را تراز کرد و مدل‌های تجاری آن‌ها را یکپارچه نمود (مثلاً وسیله‌ی نقلیه‌ی الکتریکی).

"اگر به وسایل نقلیه‌ی برقی به‌عنوان ماشین نگاه نکنید و در عوض آن‌ها را به‌عنوان باتری‌هایی بر روی چرخ‌ها ببینید، درنتیجه برای شرکت‌های برق که نیاز به باتری برای ذخیره‌ی انرژی خود دارند، جالب می‌شوند." بخش خصوصی تدبیر دیگری برای استفاده از وسایل نقلیه‌ی الکتریکی خواهد داشت. برای بخش عمومی، وسیله‌ی نقلیه الکتریکی با صرفه‌جویی در مصرف انرژی و بهبود سلامتی، ارزش ایجاد می‌کند و برای شرکت‌های برق از طریق استفاده و ذخیره‌ی انعطاف‌پذیرتر انرژی، ارزش ایجاد می‌کند.

۳- جمع‌آوری دانش جمعی از شهروندان

برای اینکه آرمان‌های فناوری و سیاسی شهرهای هوشمند با موفقیت به اجرا درآید، پذیرش و گنجاندن شهروندان، امری حیاتی است. شهروندان دلیل اصلی وجود شهر و سیاست‌های آن هستند و فقط با حمایت آن‌ها می‌توان به اهداف سیاسی شهرهای هوشمندتر دست یافت؛ بنابراین، یک عنصر اساسی در توسعه‌ی شهرهای هوشمند، ورود شهروندان در چشم‌انداز شهر هوشمند است. در همین راستا، فناوری‌های ارتباطات و اطلاعات مانند تلفن‌های هوشمند و رسانه‌های اجتماعی می‌توانند برای ایجاد سامانه‌های بازخورد بین شهرداری و شهروندان استفاده شوند و این امکان را فراهم کنند که اطلاعات ورودی از شهروندان جمع‌آوری و ارزیابی شود. یک نمونه از چنین سامانه‌ی بازخوردی با فناوری اطلاعات و ارتباطات، برنامه‌ی "et praj Giv" است که در سال ۲۰۱۲ در کپنهاگ راه‌اندازی شد. این امر باعث می‌شود که شهروندان کپنهاگ گزارش دهند تا نقاشی‌های دیواری، جاده‌ها یا علائم آسیب‌دیده و سطل آشغال پرشده را مستقیماً با استفاده از تلفن‌های هوشمند به شهرداری گزارش دهند. این برنامه، نمایانگر ابتکار شهرداری کپنهاگ است که در آن شهرداری و شهروندان به‌صورت جمعی از شهر مراقبت می‌کنند. هنگام ورود گزارش، شهروند فوراً از زمان مورد انتظار برای تعمیر یا پاسخ مطلع می‌شوند (Mortensen & Jonsbak Rohde, 2012).

٤- آموزش شهروندان و فرهنگ‌سازی

استفاده از سامانه‌ی مدیریت پسماند به‌تنهایی، مشکل جمع‌آوری زباله‌های باز را به دلیل دور ریختن بیش‌ازحد در زمان‌های نامناسب توسط شهروندان یا حتی عدم جمع‌آوری به‌موقع توسط مقامات ذی‌صلاح، حل نمی‌کند. مردم برای جلوگیری از دفع زباله در مواقع نامناسب، باید آگاهی خود را افزایش دهند و شرح وظایف شهروندی خود را بدانند. برای مردم، مهم‌ترین چیز این است که مکان نزدیک‌ترین نقطه‌ی زیست‌محیطی را با منابع موجود برای آن و نزدیک‌ترین نقاط اکولوژیکی برای دور انداختن احتمالی بدانند.

۵- بودجه

همچنین، حائز اهمیت است که مسئولین مجموعه‌های عمومی همیشه تقاضای به‌موقع و تغییر دادن سامانه‌های جمعی فعلی را بر اساس برنامه‌های هفتگی مبتنی بر تقاضا، یعنی نقشه‌برداری از مناطقی که دارای مهم‌ترین نیاز هستند، برآورده سازند. نکته‌ی دیگر مربوط به هزینه‌ی نهایی راه‌حل است که در مقیاس شهرداری پیش‌بینی می‌شود.

برای جلوگیری از غیر قابل عملی بودن مسئله‌ی مالی مدیریت هوشمند پسماند، لازم است راه‌هایی برای سرمایه‌گذاری در منابع ایجاد شود تا مستقیماً در راه‌حل‌ها سرمایه‌گذاری شده و نیاز شهرداری‌ها با سرمایه‌گذاری کمتری تأمین شود. یک مثال خوب می‌تواند تبلیغات بصری که مستقیماً در ظروف هوشمند یا حتی از طریق تبلیغات ارائه‌شده در برنامه‌های تلفن همراه در رابطه با مدیریت هوشمند پسماند درج شده است، باشد.

منابع

Aazam, M., St-Hilaire, M., Lung, C. H., & Lambadaris, I. (2016, October). Cloud-based smart waste management for smart cities. In *2016 IEEE 21st international workshop on computer aided modelling and design of communication links and networks (CAMAD)* (pp. 188-193). IEEE.

Al-Fuqaha, A., Khreishah, A., Guizani, M., Rayes, A., & Mohammadi, M. (2015). Toward better horizontal integration among IoT services. *IEEE Communications Magazine*, *53*(9), 72-79.

Anagnostopoulos, T., Zaslavsky, A., Kolomvatsos, K., Medvedev, A., Amirian, P., Morley, J., & Hadjieftymiades, S. (2017). Challenges and opportunities of waste management in IoT-enabled smart cities: a survey. *IEEE Transactions on Sustainable Computing*, *2*(3), 275-289.

ARUP. (2016). *Smart city opportunities for London. London*. Greater London Authority (GLA).

Bowerman, B., Braverman, J., Taylor, J., Todosow, H., & Von Wimmersperg, U. (2000). *The vision of a smart city*. 2nd international life extension technology workshop.

Catania, V., & Ventura, D. (2014, April). An approch for monitoring and smart planning of urban solid waste management using smart-M3 platform. In *Proceedings of 15th conference of open innovations association FRUCT* (pp. 24-31). IEEE.

Fahmy, A., Altaf, H., Al Nabulsi, A., Al-Ali, A., & Aburukba, R. (2019, March). Role of RFID technology in smart city applications. In *2019 international conference on communications, signal processing, and their applications (ICCSPA)* (pp. 1-6). IEEE.

Gutierrez, J. M., Jensen, M., Henius, M., & Riaz, T. (2015). Smart waste collection system based on location intelligence. *Procedia Computer Science*, *61*, 120-127.

Han, S., Pool, J., Tran, J., & Dally, W. (2015). Learning both weights and connections for efficient neural network. *Advances in neural information processing systems*, *28*.

http://nobka.ir/

http://pasmand.tehran.ir/

Kostakos, V., Ojala, T., & Juntunen, T. (2013). Traffic in the smart city: Exploring city-wide sensing for traffic control center augmentation. *IEEE Internet Computing*, *17*(6), 22-29.

Kumar Gupta, P., Shree, V., & Hiremath, L. (2019). Recent advances in computational intelligence: The use of modern technology in smart waste management and recycling. *Artificial Intelligence and Machine Learning*, 173-188.

Lombardi, P., Giordano, S., Farouh, H., & Yousef, W. (2012). Modelling the smart city performance. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, *25*(2), 137-149.

Marques, P., Manfroi, D., Deitos, E., Cegoni, J., Castilhos, R., Rochol, J., ... & Kunst, R. (2019). An IoT-based smart cities infrastructure architecture applied to a waste management scenario. *Ad Hoc Networks*, *87*, 200-208.

Mi, L., Liu, N., & Zhou, B. (2010, June). Disposal methods for municipal solid wastes and its development trend. In *2010 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering* (pp. 1-4). IEEE.

Mitton, N., Papavassiliou, S., Puliafito, A., & Trivedi, K. S. (2012). Combining Cloud and sensors in a smart city environment. *EURASIP journal on Wireless Communications and Networking*, *2012*(1), 1-10.

Mohammadi, M., & Al-Fuqaha, A. (2018). Enabling cognitive smart cities using big data and machine learning: Approaches and challenges. *IEEE Communications Magazine*, *56*(2), 94-101.

Mohanty, S. P., Choppali, U., & Kougianos, E. (2016). Everything you wanted to know about smart cities: The Internet of things is the backbone. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, *5*(3), 60-70.

Mortensen, J., Jonsbak Rohde, F. (2012). Danish smart Cities : sustainable living in an urban worlD An overview of Danish Smart City competencies. *Environmental Science, Engineering*.

Pardini, K., Rodrigues, J. J., Kozlov, S. A., Kumar, N., & Furtado, V. (2019). IoT-based solid waste management solutions: a survey. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, *8*(1), 5.

Sathish, S., & Prabhakaran, M. (2011, December). Conventional solid waste management technique for eradication of solid waste and its impact assessment. In *International Conference on Green technology and environmental Conservation (GTEC-2011)* (pp. 159-161). IEEE.

Silva, B. N., Khan, M., & Han, K. (2018). Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. *Sustainable cities and society*, *38*, 697-713.

Thakker, S., & Narayanamoorthi, R. (2015, March). Smart and wireless waste management. In *2015 international conference on innovations in information, embedded and communication systems (ICIIECS)* (pp. 1-4). IEEE.

Yanling, B., & Fjældhøj, T. (2015). *Co-reating the cities of tomorrow - danish smart city competencies in the singaporean market*. The Royal Danish Embassy, Singapore.

Yigitcanlar, T., O'Connor, K., & Westerman, C. (2008). The making of knowledge cities: Melbourne's knowledge-based urban development experience. *Cities*, *25*(2), 63-72.

استناد به این مقاله: ملک الکلامی، میلا و حسن‌زاده، محمد. (۱۴۰۱). مدیریت هوشمند پسماند بر پایه‌ی اینترنت اشیاء: گامی در مسیر شهر دانش. *فصلنامه پژوهش‌های نوین در شهر هوشمند*، ۱(۱)، ۳۸-۵۶.

New Researches in The Smart City is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.