اولین کنفرانس بین‌المللی
مطالعات تطبیقی دانش و نوآوری
در روانشناسی، علوم تربیتی، مدیریت، حقوق و آموزش و پرورش
با رویکرد علوم انسانی

MDOI-01-2026.0108
MNR--1-2624BF

طراحی الگوی مدیریت هوشمند پسماند شهری با تاکید بر کاهش هزینه ها و توسعه پایدار

سحر رستمی، امید درویشوند

مسئول منابع انسانی وتشکیلات شهرداری

معاون خدمات شهری شهرداری

چکیده

مدیریت پسماند شهری یکی از مهم‌ترین چالش‌های مدیریت شهری در جوامع معاصر است که به دلیل افزایش جمعیت، گسترش شهرنشینی، تغییر الگوهای مصرف و افزایش حجم تولید زباله، پیچیدگی بیشتری پیدا کرده است. روش‌های سنتی جمع‌آوری، انتقال، تفکیک و دفع پسماند، علاوه بر تحمیل هزینه‌های سنگین به شهرداری‌ها، در بسیاری از موارد از کارایی لازم برای حفاظت از محیط‌زیست و استفاده بهینه از منابع برخوردار نیستند. در چنین شرایطی، بهره‌گیری از فناوری‌های هوشمند و رویکردهای نوین مدیریتی می‌تواند زمینه‌ساز تحول در نظام مدیریت پسماند شهری باشد. هدف مقاله حاضر، طراحی و تبیین الگوی مدیریت هوشمند پسماند شهری با تأکید بر کاهش هزینه‌های عملیاتی و تحقق اهداف توسعه پایدار است. در این راستا، ظرفیت فناوری‌هایی نظیر اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، تحلیل کلان‌داده‌ها، سامانه‌های موقعیت‌یاب جغرافیایی و مخازن هوشمند در بهینه‌سازی فرایندهای مدیریت پسماند مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین، نقش مدیریت یکپارچه اطلاعات، تفکیک پسماند از مبدأ، بهینه‌سازی مسیرهای جمع‌آوری، بازیافت هوشمند، مشارکت شهروندان و همکاری بخش خصوصی در ارتقای بهره‌وری اقتصادی و زیست‌محیطی تحلیل می‌شود. رویکرد مقاله بر این اساس استوار است که هوشمندسازی مدیریت پسماند نباید صرفاً به خرید تجهیزات و استقرار فناوری‌های دیجیتال محدود شود، بلکه لازم است مجموعه‌ای هماهنگ از زیرساخت‌های فناورانه، سازوکارهای اقتصادی، ظرفیت‌های نهادی و مشارکت اجتماعی را در بر گیرد. الگوی پیشنهادی با تلفیق این ابعاد، می‌تواند به کاهش مصرف سوخت، زمان جمع‌آوری، هزینه نیروی انسانی و مخارج دفع نهایی، افزایش بازیابی مواد ارزشمند و کاهش آلودگی محیط‌زیست کمک کند. در نهایت، مقاله بر ضرورت حرکت شهرداری‌ها از مدیریت سنتی و هزینه‌محور به سمت مدیریت هوشمند، یکپارچه و مبتنی بر اقتصاد چرخشی تأکید دارد.

واژگان کلیدی: مدیریت هوشمند پسماند، شهرداری هوشمند، کاهش هزینه‌ها، توسعه پایدار، اقتصاد چرخشی.

مقدمه

گسترش شهرنشینی و افزایش جمعیت شهری، مدیریت پسماند را به یکی از مسائل اساسی نظام مدیریت شهری تبدیل کرده است. رشد فعالیت‌های اقتصادی، تغییر الگوهای مصرف خانوارها و افزایش استفاده از محصولات بسته‌بندی‌شده، موجب افزایش حجم و تنوع پسماندهای شهری شده است. این روند در کنار محدودیت منابع مالی شهرداری‌ها و افزایش هزینه‌های خدمات عمومی، ضرورت بازنگری در شیوه‌های سنتی مدیریت پسماند را بیش از گذشته آشکار می‌سازد. امروزه مدیریت پسماند صرفاً به جمع‌آوری و انتقال زباله محدود نیست، بلکه مجموعه‌ای از فعالیت‌های به‌هم‌پیوسته شامل کاهش تولید، تفکیک از مبدأ، جمع‌آوری، حمل‌ونقل، پردازش، بازیافت و دفع اصولی را در بر می‌گیرد که عملکرد هر بخش بر کارایی سایر بخش‌ها تأثیر مستقیم دارد.

در بسیاری از شهرها، بخش قابل‌توجهی از منابع مالی شهرداری‌ها صرف عملیات روزمره جمع‌آوری و انتقال پسماند می‌شود. استفاده از مسیرهای ثابت و غیرمنعطف، نبود اطلاعات دقیق درباره میزان پرشدگی مخازن، ضعف در تفکیک پسماند و هماهنگی ناکافی میان واحدهای اجرایی، می‌تواند موجب افزایش هزینه‌های عملیاتی و کاهش بهره‌وری شود. از سوی دیگر، دفن حجم زیادی از پسماندهای قابل‌بازیافت، علاوه بر اتلاف منابع اقتصادی، پیامدهایی نظیر آلودگی خاک و آب، انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش ظرفیت محل‌های دفن را به دنبال دارد. بنابراین، اصلاح نظام مدیریت پسماند مستلزم توجه هم‌زمان به کارایی اقتصادی و حفاظت از محیط‌زیست است.(Kaza et al., 2018)

یکی از رویکردهای نوین برای مواجهه با این چالش‌ها، استفاده از فناوری‌های هوشمند در مدیریت پسماند شهری است. توسعه اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، حسگرهای هوشمند و فناوری تحلیل داده‌ها، امکان جمع‌آوری و پردازش اطلاعات دقیق‌تر و اتخاذ تصمیم‌های مبتنی بر شرایط واقعی شهر را فراهم کرده است. برای نمونه، نصب حسگر در مخازن پسماند می‌تواند اطلاعات مربوط به میزان پرشدگی آن‌ها را به مراکز کنترل منتقل کند و زمینه برنامه‌ریزی پویا برای جمع‌آوری را فراهم سازد. همچنین، استفاده از الگوریتم‌های هوشمند برای تعیین مسیر خودروهای حمل زباله می‌تواند مسافت پیموده‌شده، مصرف سوخت، زمان عملیات و هزینه‌های نگهداری ناوگان را کاهش دهد (Anagnostopoulos et al., 2017).

علاوه بر این، هوش مصنوعی می‌تواند با تحلیل داده‌های تاریخی و اطلاعات محیطی، میزان تولید پسماند در مناطق مختلف شهر را پیش‌بینی کند و به مدیران شهری در تخصیص بهینه نیروی انسانی، تجهیزات و منابع مالی کمک نماید. پژوهش Fang et al. (2023) نشان می‌دهد که کاربرد هوش مصنوعی در حوزه‌هایی مانند پیش‌بینی تولید زباله، مدیریت هوشمند مخازن، تفکیک مواد و بهینه‌سازی عملیات حمل‌ونقل، ظرفیت قابل‌توجهی برای کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری نظام مدیریت پسماند دارد. همچنین، Olawade et al. (2024) بر نقش فناوری‌های هوشمند در بهبود زمان‌بندی جمع‌آوری، کاهش مصرف سوخت و ارتقای عملکرد فرایندهای بازیافت تأکید کرده‌اند. این مطالعات بیانگر آن هستند که هوشمندسازی می‌تواند از طریق تبدیل اطلاعات پراکنده به داده‌های قابل استفاده، کیفیت تصمیم‌گیری مدیران شهری را بهبود بخشد.

از منظر توسعه پایدار نیز مدیریت هوشمند پسماند با مفهوم اقتصاد چرخشی ارتباط نزدیکی دارد. در الگوی اقتصاد چرخشی، پسماند به‌عنوان منبعی بالقوه برای تولید مواد اولیه، انرژی و محصولات جدید در نظر گرفته می‌شود و تلاش بر این است که ارزش اقتصادی مواد تا حد امکان حفظ شود. در این رویکرد، اولویت با جلوگیری از تولید پسماند، استفاده مجدد، بازیافت و بازیابی منابع است و دفن زباله به‌عنوان آخرین گزینه مدیریت پسماند شناخته می‌شود. استفاده از فناوری‌های تشخیص و تفکیک هوشمند می‌تواند کیفیت مواد بازیافتی را افزایش داده و امکان بازگشت آن‌ها به چرخه تولید را فراهم سازد (Dawar et al., 2025).

با وجود ظرفیت‌های یادشده، پیاده‌سازی مدیریت هوشمند پسماند با چالش‌هایی نیز همراه است. هزینه اولیه خرید و نصب تجهیزات، کمبود زیرساخت‌های ارتباطی، ضعف یکپارچگی سامانه‌های اطلاعاتی، محدودیت منابع مالی شهرداری‌ها، کمبود نیروی انسانی متخصص و مشارکت ناکافی شهروندان از جمله موانعی هستند که ممکن است اثربخشی این رویکرد را کاهش دهند. بنابراین، نمی‌توان صرفاً با استقرار فناوری‌های جدید انتظار داشت که مشکلات مدیریت پسماند برطرف شود. موفقیت این تحول به وجود برنامه‌ریزی راهبردی، مدیریت یکپارچه، تأمین مالی پایدار، آموزش شهروندان و ارزیابی مستمر عملکرد وابسته است.(Hassan, 2025)

بر این اساس، مسئله اصلی در مدیریت پسماند شهری، چگونگی تلفیق فناوری‌های هوشمند با ساختارهای مدیریتی و اقتصادی شهرداری‌ها به‌گونه‌ای است که ضمن کاهش هزینه‌های جاری و سرمایه‌ای، کیفیت خدمات شهری و شاخص‌های زیست‌محیطی نیز بهبود یابد. طراحی یک الگوی یکپارچه که بتواند ارتباط میان تولید پسماند، تفکیک، جمع‌آوری، حمل‌ونقل، پردازش، بازیافت و دفع نهایی را مدیریت کند، ضرورتی اساسی برای حرکت به سمت شهرهای پایدار محسوب می‌شود.

ازاین‌رو، مقاله حاضر با رویکردی تحلیلی درصدد تبیین ابعاد مختلف مدیریت هوشمند پسماند و ارائه الگویی کاربردی برای شهرداری‌ها است. در این چارچوب، ضمن بررسی قابلیت‌های فناوری‌های نوین، سازوکارهای کاهش هزینه، الزامات نهادی و اقتصادی، نقش مشارکت شهروندان و ارتباط مدیریت هوشمند پسماند با اهداف توسعه پایدار مورد توجه قرار می‌گیرد. انتظار می‌رود الگوی پیشنهادی بتواند مبنایی برای اصلاح فرایندهای اجرایی، افزایش بهره‌وری منابع و ارتقای کیفیت مدیریت شهری فراهم سازد.

پیشینه پژوهش

Zoumpoulis et al. (2024)در پژوهشی با عنوان «مخازن هوشمند برای بازیابی بهتر منابع و توسعه شیوه‌های پایدار مدیریت پسماند شهری در شهرهای هوشمند» به بررسی فناوری‌های مورد استفاده در مخازن هوشمند پرداختند. این مطالعه با بررسی ۷۹ مقاله، قابلیت‌های حسگرها، پایش میزان پرشدگی و تفکیک خودکار مواد را تحلیل کرد. نتایج نشان داد که مخازن هوشمند ظرفیت بالایی برای بهبود بازیابی منابع دارند؛ بااین‌حال، هزینه استقرار، نبود استانداردهای یکپارچه و محدودیت فناوری‌های تفکیک خودکار از موانع توسعه آن‌ها هستند .

El Jaouhari et al. (2025)در مقاله‌ای با عنوان «تبدیل زباله به ثروت؛ بررسی ظرفیت‌های هوش مصنوعی در مدیریت پسماند شهری و چشم‌اندازهای آینده» تعداد ۲۲۹ مقاله علمی منتشرشده در فاصله سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۴ را بررسی کردند. یافته‌ها نشان داد که هوش مصنوعی در پیش‌بینی تولید پسماند، پایش مخازن، بهینه‌سازی مسیر خودروها و برنامه‌ریزی مدیریت شهری کاربرد دارد. پژوهشگران بر ضرورت طراحی چارچوبی جامع برای کاهش هزینه‌ها، افزایش بهره‌وری و بهبود عملکرد نظام مدیریت پسماند تأکید کردند .

Alaoui et al. (2025)در پژوهشی با عنوان «مدیریت پسماند مبتنی بر اینترنت اشیا در شهرهای هوشمند؛ مرور نظام‌مند مطالعات» روند توسعه فناوری اینترنت اشیا را در مدیریت پسماند بررسی کردند. نتایج نشان داد که پایش لحظه‌ای، تحلیل پیش‌بینانه و الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌توانند موجب تحول در نظام سنتی جمع‌آوری پسماند شوند. این مطالعه بر اهمیت طراحی زیرساخت‌های اطلاعاتی و استفاده از داده‌های عملیاتی در تصمیم‌گیری مدیران شهری تأکید دارد .

Dawar et al. (2025)در مقاله‌ای با عنوان «مرور نظام‌مند مدیریت پسماند جامد شهری با استفاده از یادگیری ماشین و یادگیری عمیق» تعداد ۶۹ مطالعه علمی منتشرشده بین سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۴ را بررسی کردند. نتایج نشان داد که

یادگیری ماشین می‌تواند فرایند تصمیم‌گیری، بازیابی منابع و تحقق اهداف اقتصاد چرخشی را بهبود دهد. بااین‌حال، کیفیت داده‌ها و ضرورت همکاری میان رشته‌های مختلف از چالش‌های اصلی توسعه این فناوری‌ها محسوب می‌شوند .

بررسی مطالعات جدید نشان می‌دهد که سه موضوع در پژوهش‌های اخیر اهمیت بیشتری یافته‌اند: نخست، استفاده از هوش مصنوعی و اینترنت اشیا برای کاهش هزینه‌های عملیاتی؛ دوم، توسعه مخازن و سامانه‌های تفکیک هوشمند برای افزایش بازیابی منابع؛ و سوم، طراحی چارچوب‌های یکپارچه با هدف پیوند دادن فناوری، اقتصاد چرخشی و توسعه پایدار.

شکاف پژوهشی: با وجود مطالعات متعدد درباره کاربرد فناوری‌های هوشمند، همچنان نیاز به الگویی مدیریتی وجود دارد که کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری، توان مالی شهرداری‌ها، مشارکت شهروندان و پیامدهای زیست‌محیطی را به‌صورت هم‌زمان در نظر بگیرد. مقاله حاضر بر همین خلأ تمرکز دارد.

تحلیل ابعاد مدیریت هوشمند پسماند شهری

۱ .نقش فناوری اینترنت اشیا در هوشمندسازی مدیریت پسماند

اینترنت اشیا یکی از زیرساخت‌های اصلی مدیریت هوشمند پسماند است که امکان ارتباط میان مخازن، خودروهای جمع‌آوری، مراکز پردازش و سامانه‌های مدیریتی را فراهم می‌کند. در این فناوری، حسگرهای نصب‌شده روی مخازن می‌توانند اطلاعاتی مانند میزان پرشدگی، وضعیت فیزیکی و زمان نیاز به تخلیه را ثبت و به مرکز کنترل ارسال کنند.

استفاده از این اطلاعات موجب می‌شود عملیات جمع‌آوری بر اساس نیاز واقعی مناطق شهری انجام شود، نه صرفاً بر اساس برنامه‌های زمانی ثابت. برای مثال، اگر مخزن یک منطقه هنوز ظرفیت کافی داشته باشد، مراجعه خودرو به آن به زمان دیگری موکول می‌شود و ظرفیت عملیاتی خودرو برای مخازنی که به تخلیه فوری نیاز دارند، اختصاص می‌یابد.

مهم‌ترین آثار اقتصادی این فناوری عبارت‌اند از:

-کاهش مراجعات غیرضروری خودروهای حمل زباله.

-کاهش مصرف سوخت و هزینه‌های تعمیر و نگهداری.

-افزایش عمر مفید تجهیزات و مخازن.

-کاهش هزینه‌های ناشی از سرریز شدن مخازن.

-بهبود نظارت بر عملکرد پیمانکاران جمع‌آوری پسماند.

بااین‌حال، استقرار این فناوری مستلزم توجه به هزینه خرید حسگرها، نگهداری تجهیزات، امنیت اطلاعات و پایداری شبکه ارتباطی است. بنابراین، شهرداری‌ها باید ابتدا مناطق دارای حجم تولید بالا و هزینه عملیاتی بیشتر را برای اجرای آزمایشی انتخاب کنند.

۲ .کاربرد هوش مصنوعی در پیش‌بینی و برنامه‌ریزی پسماند

هوش مصنوعی می‌تواند با تحلیل داده‌های تاریخی و اطلاعات مربوط به شرایط شهری، الگوهای تولید پسماند را شناسایی و میزان زباله تولیدی در مناطق مختلف را پیش‌بینی کند. این قابلیت به مدیران شهری کمک می‌کند تا برنامه جمع‌آوری، تعداد خودروها و نیروی انسانی موردنیاز را متناسب با تقاضای واقعی تنظیم کنند.

برای نمونه، میزان تولید پسماند در مناطق تجاری، مسکونی و گردشگری یکسان نیست. همچنین، مناسبت‌های عمومی، تعطیلات، تغییرات فصلی و شرایط آب‌وهوایی می‌توانند بر حجم زباله تأثیر بگذارند. هوش مصنوعی با تحلیل این متغیرها می‌تواند برنامه‌ریزی مدیریت پسماند را از حالت ثابت به حالت پویا تبدیل کند.

از دیگر کاربردهای این فناوری، شناسایی نقاطی است که بیشترین میزان تولید زباله یا بیشترین هزینه جمع‌آوری را دارند. این اطلاعات امکان اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری‌ها و تخصیص هدفمند تجهیزات را فراهم می‌کند.

البته، دقت پیش‌بینی‌های هوش مصنوعی به کیفیت و جامعیت داده‌های ورودی وابسته است. بنابراین، ایجاد بانک اطلاعاتی منظم و به‌روزرسانی مستمر اطلاعات، از پیش‌شرط‌های موفقیت این رویکرد محسوب می‌شود.

۳ .بهینه‌سازی مسیرهای جمع‌آوری و حمل‌ونقل

حمل‌ونقل یکی از بخش‌های پرهزینه مدیریت پسماند شهری است. در روش‌های سنتی، خودروها معمولاً مسیرهای مشخصی را طی می‌کنند، بدون آنکه میزان واقعی پسماند موجود در مخازن، ترافیک معابر یا تغییرات روزانه حجم زباله به‌طور کامل در برنامه‌ریزی لحاظ شود.

سامانه‌های هوشمند با ترکیب اطلاعات موقعیت جغرافیایی، وضعیت مخازن، شرایط ترافیکی و ظرفیت خودروها، می‌توانند مسیرهای مناسب‌تری برای جمع‌آوری پیشنهاد دهند. این فرایند علاوه بر کاهش مسافت پیموده‌شده، موجب کاهش زمان عملیات و استهلاک ناوگان می‌شود.

از منظر اقتصادی، بهینه‌سازی مسیرها چند نتیجه مهم دارد. نخست اینکه مصرف سوخت کاهش می‌یابد. دوم، تعداد سفرهای غیرضروری کمتر می‌شود. سوم، امکان استفاده مؤثرتر از ظرفیت خودروها فراهم می‌گردد. چهارم، با کاهش فشار عملیاتی بر ناوگان، هزینه تعمیرات و نگهداری نیز کاهش پیدا می‌کند.

نکته مهم آن است که انتخاب مسیر بهینه نباید صرفاً بر اساس کوتاه‌ترین فاصله انجام شود؛ بلکه ظرفیت خودرو، نوع پسماند، محدودیت تردد، شرایط معابر و اولویت‌های بهداشتی نیز باید در تصمیم‌گیری لحاظ شوند.

۴ .تفکیک هوشمند پسماند از مبدأ

تفکیک پسماند از مبدأ یکی از عوامل تعیین‌کننده در موفقیت مدیریت هوشمند است. زمانی که مواد خشک، تر و قابل‌بازیافت از ابتدا به‌درستی جداسازی شوند، هزینه پردازش کاهش یافته و کیفیت مواد بازیافتی افزایش می‌یابد.

فناوری‌های دیجیتال می‌توانند از طریق اپلیکیشن‌های شهروندی، سامانه‌های ثبت اطلاعات و تجهیزات تشخیص هوشمند، فرایند تفکیک را تسهیل کنند. همچنین، امکان طراحی نظام‌های تشویقی مبتنی بر میزان مشارکت خانوارها فراهم می‌شود.

برای مثال، شهرداری می‌تواند بر اساس میزان تحویل پسماند خشک تفکیک‌شده، امتیازهایی به شهروندان اختصاص دهد و این امتیازها را به تخفیف در برخی خدمات شهری یا مشوق‌های اقتصادی تبدیل کند.

از سوی دیگر، استفاده از دوربین‌های صنعتی، حسگرهای نوری و الگوریتم‌های تشخیص تصویر در مراکز پردازش، امکان شناسایی و جداسازی دقیق‌تر مواد را فراهم می‌کند. این اقدامات ضمن کاهش هزینه جداسازی دستی، ظرفیت بازیابی مواد ارزشمند را افزایش می‌دهند.

۵ .بازیافت هوشمند و ایجاد ارزش اقتصادی

در الگوی سنتی، بخش زیادی از پسماند به‌عنوان ماده زائد شناخته می‌شود؛ درحالی‌که در رویکرد اقتصاد چرخشی، بسیاری از این مواد می‌توانند دوباره به چرخه تولید بازگردند. مدیریت هوشمند با شناسایی نوع، مقدار و کیفیت مواد قابل‌بازیافت، امکان برنامه‌ریزی بهتر برای فروش، انتقال و پردازش آن‌ها را فراهم می‌کند.

شهرداری‌ها می‌توانند با ایجاد سامانه‌های اطلاعاتی برای ارتباط میان مراکز جمع‌آوری، صنایع بازیافت و واحدهای تولیدی، بازار مواد بازیافتی را سامان‌دهی کنند. در این صورت، پسماند خشک تفکیک‌شده می‌تواند به‌جای تحمیل هزینه دفع، به منبعی برای کسب درآمد تبدیل شود.

همچنین، پسماندهای آلی و تر در صورت مدیریت صحیح، قابلیت تبدیل به کمپوست یا سایر محصولات قابل‌استفاده را دارند. البته انتخاب روش پردازش باید متناسب با ترکیب پسماند، شرایط اقلیمی، ظرفیت بازار مصرف و هزینه سرمایه‌گذاری انجام شود.

۶ .نقش سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در مدیریت پسماند

سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) یکی از ابزارهای مهم برای تحلیل مکانی و برنامه‌ریزی خدمات شهری است. این سامانه با نمایش موقعیت مخازن، مراکز تولید پسماند، مسیرهای حمل‌ونقل، ایستگاه‌های انتقال و مراکز پردازش، امکان شناسایی نارسایی‌های موجود در شبکه مدیریت پسماند را فراهم می‌کند.

از طریق GIS می‌توان مناطقی را که از نظر تعداد مخازن، فاصله تا مراکز جمع‌آوری یا دسترسی به خدمات با محدودیت مواجه هستند، شناسایی کرد. همچنین، این سامانه در تعیین مکان مناسب برای احداث ایستگاه‌های انتقال و مراکز پردازش کاربرد دارد.

ترکیب GIS با اینترنت اشیا و هوش مصنوعی، ظرفیت مدیریت مکانی و عملیاتی پسماند را افزایش می‌دهد و به شهرداری اجازه می‌دهد تصمیم‌های خود را بر اساس اطلاعات واقعی و شرایط هر منطقه اتخاذ کند.

طراحی الگوی پیشنهادی مدیریت هوشمند پسماند شهری

۱ .ضرورت طراحی الگوی یکپارچه

با توجه به تعدد عوامل مؤثر بر مدیریت پسماند، استفاده پراکنده از فناوری‌های هوشمند نمی‌تواند به‌تنهایی موجب تحول اساسی در عملکرد شهرداری‌ها شود. برای دستیابی به نتایج پایدار، لازم است فناوری، ساختار اجرایی، نظام مالی، مشارکت شهروندان و فرایندهای نظارتی در قالب یک الگوی یکپارچه سازمان‌دهی شوند.

الگوی پیشنهادی این مقاله بر این فرض استوار است که کاهش هزینه‌های مدیریت پسماند زمانی تحقق می‌یابد که تمام مراحل زنجیره مدیریت، از تولید تا دفع نهایی، به‌صورت هماهنگ مدیریت شوند.

۲ .اجزای اصلی الگوی پیشنهادی

۲-۱ .زیرساخت فناورانه و اطلاعاتی

نخستین بخش الگو، ایجاد زیرساخت دیجیتال برای جمع‌آوری و تبادل اطلاعات است. این زیرساخت شامل حسگرهای هوشمند، سامانه‌های موقعیت‌یاب، پایگاه داده متمرکز، نرم‌افزارهای مدیریت ناوگان و ابزارهای تحلیل اطلاعات است.

هدف از ایجاد این زیرساخت، فراهم‌کردن تصویری دقیق از وضعیت پسماند در مناطق مختلف شهر و امکان تصمیم‌گیری سریع و مبتنی بر داده است.

۲-۲ .مدیریت یکپارچه عملیات اجرایی

در این بخش، فعالیت‌های جمع‌آوری، انتقال، تفکیک، پردازش و دفع نهایی در یک سامانه هماهنگ قرار می‌گیرند. اطلاعات هر مرحله باید در اختیار سایر بخش‌ها قرار گیرد تا از دوباره‌کاری، اتلاف منابع و تصمیم‌گیری‌های متناقض جلوگیری شود.

برای مثال، اطلاعات مربوط به میزان تولید پسماند و ظرفیت مراکز پردازش باید در برنامه‌ریزی جمع‌آوری و تخصیص خودروها مورد استفاده قرار گیرد.

۲-۳ .مدیریت اقتصادی و کنترل هزینه‌ها

یکی از مهم‌ترین اجزای الگو، ایجاد نظام شفاف برای شناسایی، طبقه‌بندی و کنترل هزینه‌هاست. در این نظام، هزینه‌های سوخت، نیروی انسانی، تعمیرات، خرید تجهیزات، پردازش و دفع به‌صورت جداگانه ارزیابی می‌شوند.

همچنین، درآمد حاصل از فروش مواد بازیافتی و سایر فعالیت‌های بازیابی منابع باید در محاسبات اقتصادی لحاظ شود تا تصویر واقعی‌تری از هزینه خالص مدیریت پسماند به دست آید.

۲-۴ .مشارکت شهروندان و مسئولیت اجتماعی

مدیریت هوشمند بدون همکاری شهروندان اثربخشی محدودی خواهد داشت. بنابراین، آموزش تفکیک پسماند، اطلاع‌رسانی دیجیتال، ارائه مشوق‌های اقتصادی و ایجاد امکان ثبت درخواست و گزارش مشکلات شهری باید در ساختار الگو پیش‌بینی شود.

۲-۵ .نظارت و ارزیابی عملکرد

آخرین بخش الگو به ارزیابی مستمر نتایج اختصاص دارد. در این مرحله، شاخص‌هایی مانند هزینه جمع‌آوری هر تن پسماند، میزان مصرف سوخت، درصد تفکیک از مبدأ، نرخ بازیافت، میزان دفن و رضایت شهروندان بررسی می‌شوند.

نتایج ارزیابی باید در اصلاح برنامه‌ها و تخصیص مجدد منابع مورد استفاده قرار گیرند.

۳ .سازوکار عملکرد الگوی پیشنهادی

عملکرد الگو بر اساس یک چرخه مدیریتی مستمر شکل می‌گیرد. ابتدا اطلاعات مربوط به تولید و وضعیت پسماند از طریق ابزارهای هوشمند جمع‌آوری می‌شود. سپس داده‌ها تحلیل شده و برنامه مناسب برای جمع‌آوری، انتقال و پردازش تدوین می‌گردد.

در مرحله بعد، عملیات اجرایی بر اساس برنامه تعیین‌شده انجام می‌شود و اطلاعات عملکردی به سامانه مرکزی بازمی‌گردد. در نهایت، هزینه‌ها و نتایج زیست‌محیطی ارزیابی شده و اصلاحات لازم در برنامه‌های اجرایی اعمال می‌شود.

این چرخه موجب می‌شود نظام مدیریت پسماند از یک ساختار ثابت و واکنشی به یک نظام پویا و یادگیرنده تبدیل شود.

راهکارهای کاهش هزینه‌ها در مدیریت هوشمند پسماند

۱ .کاهش هزینه‌های جمع‌آوری و حمل‌ونقل

بخش مهمی از هزینه‌های شهرداری در حوزه پسماند به جمع‌آوری و انتقال مربوط است. استفاده از مخازن هوشمند و الگوریتم‌های تعیین مسیر می‌تواند مراجعات غیرضروری خودروها را کاهش دهد.

همچنین، تنظیم برنامه جمع‌آوری بر اساس میزان واقعی تولید پسماند در هر منطقه، امکان استفاده بهتر از ظرفیت ناوگان را فراهم می‌کند. این اقدام علاوه بر کاهش مصرف سوخت، هزینه‌های نگهداری خودروها و استهلاک تجهیزات را نیز محدود می‌سازد.

۲ .مدیریت بهینه نیروی انسانی

یکی دیگر از راهکارهای کاهش هزینه، تخصیص متناسب نیروی انسانی به مناطق و فعالیت‌های مختلف است. سامانه‌های هوشمند با ثبت اطلاعات مربوط به حجم عملیات، زمان انجام کار و میزان بهره‌وری کارکنان، امکان شناسایی نقاط ضعف و توزیع منطقی وظایف را فراهم می‌کنند.

البته هوشمندسازی نباید صرفاً به کاهش تعداد کارکنان منجر شود، بلکه باید با ارتقای مهارت‌های تخصصی، آموزش فناوری‌های جدید و بهبود شرایط کاری همراه باشد.

۳ .کاهش هزینه‌های پردازش و دفع

تفکیک اصولی پسماند از مبدأ، کاهش ورود مواد مخلوط به مراکز پردازش و استفاده از تجهیزات مناسب می‌تواند هزینه‌های جداسازی و دفع را کاهش دهد.

همچنین، توسعه بازیافت و پردازش پسماندهای آلی موجب کاهش حجم زباله‌های انتقال‌یافته به محل‌های دفن می‌شود. این موضوع از نظر اقتصادی اهمیت دارد؛ زیرا هزینه‌های حمل، آماده‌سازی و مدیریت محل دفن در بلندمدت کاهش پیدا می‌کند.

۴ .کاهش هزینه‌های ناشی از مدیریت غیرکارآمد

بخشی از هزینه‌های مدیریت پسماند ناشی از ضعف نظارت، دوباره‌کاری، ثبت اطلاعات نادرست و نبود هماهنگی میان واحدهای اجرایی است. ایجاد سامانه نظارت هوشمند می‌تواند میزان عملکرد پیمانکاران، وضعیت تجهیزات و کیفیت خدمات ارائه‌شده را قابل‌اندازه‌گیری کند.

در این شرایط، پرداخت به پیمانکاران نیز می‌تواند بر اساس عملکرد واقعی و شاخص‌های قابل ارزیابی تنظیم شود.

۵ .کاهش هزینه‌های بلندمدت از طریق سرمایه‌گذاری هدفمند

هوشمندسازی نیازمند سرمایه‌گذاری اولیه است؛ بنابراین، شهرداری‌ها باید میان هزینه خرید تجهیزات و منافع اقتصادی بلندمدت تعادل برقرار کنند.

بهترین راهبرد، اجرای تدریجی طرح و اولویت‌بندی فناوری‌ها بر اساس میزان اثرگذاری اقتصادی آن‌هاست. برای مثال، تجهیز ابتدایی مناطق پرتولید به مخازن هوشمند می‌تواند نسبت به تجهیز هم‌زمان تمام مناطق شهر، اقتصادی‌تر باشد.

الزامات اجرایی پیاده‌سازی الگوی پیشنهادی

۱ .الزامات مدیریتی و سازمانی

اجرای موفق مدیریت هوشمند مستلزم وجود ساختار سازمانی مشخص و تقسیم مسئولیت میان واحدهای مرتبط شهرداری است. واحدهای خدمات شهری، فناوری اطلاعات، امور مالی، محیط‌زیست و نظارت باید در چارچوب یک برنامه مشترک فعالیت کنند.

همچنین، مدیران شهری باید از تصمیم‌گیری‌های جزیره‌ای فاصله گرفته و اطلاعات عملکردی را مبنای برنامه‌ریزی قرار دهند.

۲ .الزامات مالی و اقتصادی

محدودیت منابع مالی یکی از موانع اصلی توسعه سامانه‌های هوشمند است. ازاین‌رو، استفاده از مشارکت بخش خصوصی، قراردادهای مبتنی بر عملکرد، سرمایه‌گذاری مشترک و درآمدهای حاصل از بازیافت می‌تواند بخشی از منابع مالی موردنیاز را تأمین کند.

در این زمینه، ارزیابی هزینه چرخه عمر تجهیزات اهمیت زیادی دارد؛ زیرا ارزان بودن تجهیزات در زمان خرید لزوماً به معنای اقتصادی بودن آن‌ها در بلندمدت نیست.

۳ .الزامات فنی و زیرساختی

وجود شبکه ارتباطی پایدار، تجهیزات استاندارد، سامانه‌های نرم‌افزاری سازگار و پایگاه داده یکپارچه از ضروریات اجرای طرح است. همچنین، امنیت اطلاعات و حفاظت از داده‌های شهروندان باید در طراحی سامانه‌ها مورد توجه قرار گیرد.

۴ .الزامات فرهنگی و اجتماعی

تغییر رفتار شهروندان یکی از عوامل تعیین‌کننده موفقیت مدیریت هوشمند پسماند است. آموزش عمومی، فرهنگ‌سازی در مدارس، اطلاع‌رسانی محله‌ای و ارائه مشوق‌های متناسب می‌تواند مشارکت خانوارها در تفکیک پسماند را افزایش دهد.

۵ .الزامات قانونی و نظارتی

تدوین دستورالعمل‌های مشخص برای تفکیک، جمع‌آوری، انتقال و بازیافت پسماند، همراه با تعیین مسئولیت نهادهای اجرایی و پیمانکاران ضروری است. همچنین، نظام ارزیابی عملکرد باید به‌گونه‌ای طراحی شود که امکان مقایسه نتایج و شناسایی نقاط ضعف را فراهم کند.

بحث و تحلیل نتایج

تحلیل ابعاد مختلف مدیریت هوشمند پسماند نشان می‌دهد که هوشمندسازی می‌تواند ساختار سنتی خدمات شهری را از طریق افزایش دقت اطلاعات، بهبود برنامه‌ریزی و کاهش اتلاف منابع متحول سازد. بااین‌حال، میزان موفقیت این تحول به نحوه تلفیق فناوری با سیاست‌های اقتصادی، ساختار سازمانی و ظرفیت‌های اجتماعی شهر بستگی دارد.

۱ .تحلیل تأثیر مدیریت هوشمند بر بهره‌وری اقتصادی شهرداری‌ها

یکی از مهم‌ترین نتایج استقرار مدیریت هوشمند، افزایش بهره‌وری اقتصادی از طریق کنترل هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم است. در نظام سنتی، بسیاری از هزینه‌ها به دلیل نبود اطلاعات دقیق و برنامه‌ریزی ناکافی ایجاد می‌شوند. برای مثال، جمع‌آوری مخازن نیمه‌پر، پیمایش مسیرهای غیرضروری و استفاده نامتناسب از ظرفیت خودروها موجب افزایش هزینه‌های عملیاتی می‌شود.

در مقابل، سامانه‌های هوشمند با فراهم‌کردن اطلاعات دقیق از وضعیت مخازن و شرایط مناطق شهری، امکان تخصیص بهینه منابع را فراهم می‌کنند. این موضوع به‌ویژه برای شهرداری‌هایی که با محدودیت بودجه مواجه هستند، اهمیت دارد؛ زیرا می‌توانند بدون گسترش بی‌رویه ناوگان و افزایش هزینه‌های ثابت، کیفیت خدمات را ارتقا دهند.

نکته مهم آن است که کاهش هزینه باید در مقیاس کل زنجیره مدیریت پسماند ارزیابی شود. ممکن است استقرار تجهیزات هوشمند در ابتدا هزینه‌بر باشد، اما در صورت کاهش هزینه‌های سوخت، نگهداری، جمع‌آوری و دفع، منافع بلندمدت آن از هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بیشتر خواهد بود.

۲ .تحلیل ارتباط هوشمندسازی با توسعه پایدار

مدیریت هوشمند پسماند از سه مسیر اصلی به توسعه پایدار کمک می‌کند. نخست، از طریق کاهش مصرف سوخت و بهینه‌سازی حمل‌ونقل، آثار زیست‌محیطی فعالیت‌های شهری کاهش می‌یابد. دوم، با توسعه تفکیک و بازیافت، فشار بر منابع طبیعی و ظرفیت محل‌های دفن کمتر می‌شود. سوم، از طریق بهبود کیفیت خدمات عمومی و افزایش مشارکت شهروندان، زمینه ارتقای پایداری اجتماعی فراهم می‌گردد.

از این منظر، هوشمندسازی نباید صرفاً با معیارهای مالی ارزیابی شود. ممکن است یک فناوری در کوتاه‌مدت هزینه بیشتری داشته باشد، اما با کاهش آلودگی، مصرف منابع و هزینه‌های زیست‌محیطی در بلندمدت، ارزش عمومی بیشتری ایجاد کند.

۳ .تحلیل نقش داده در اصلاح تصمیم‌گیری شهری

داده‌های دقیق و به‌روز، زیربنای اصلی مدیریت هوشمند محسوب می‌شوند. در ساختار سنتی، بسیاری از تصمیم‌ها بر اساس تجربه مدیران، گزارش‌های محدود یا برنامه‌های ثابت اتخاذ می‌شوند. این شیوه اگرچه در برخی شرایط کارآمد است، اما در شهرهای بزرگ و دارای الگوهای متغیر تولید پسماند، محدودیت‌های زیادی دارد.

استفاده از تحلیل داده‌ها می‌تواند الگوهای تولید زباله، مناطق پرتولید، ساعات اوج جمع‌آوری و نقاط دارای بیشترین هزینه را مشخص کند. در نتیجه، مدیران شهری قادر خواهند بود تصمیم‌های خود را بر اساس شواهد عملیاتی اتخاذ کنند.

البته، افزایش حجم داده به‌تنهایی موجب بهبود مدیریت نمی‌شود. داده‌ها باید دقیق، قابل‌اعتماد، قابل‌مقایسه و در دسترس واحدهای تصمیم‌گیرنده باشند.

۴ .تحلیل نقش مشارکت شهروندان در موفقیت الگو

یکی از یافته‌های مهم تحلیل حاضر، ضرورت توجه به عامل انسانی در کنار فناوری است. حتی پیشرفته‌ترین سامانه‌های جمع‌آوری و پردازش نیز در شرایطی که شهروندان همکاری لازم را نداشته باشند، نمی‌توانند به نتایج مطلوب دست یابند.

تفکیک پسماند از مبدأ، کاهش مصرف محصولات یک‌بارمصرف و استفاده صحیح از مخازن، رفتارهایی هستند که مستقیماً بر هزینه و کیفیت مدیریت پسماند تأثیر می‌گذارند.

بنابراین، شهرداری‌ها باید شهروندان را از دریافت‌کنندگان منفعل خدمات به مشارکت‌کنندگان فعال در مدیریت منابع شهری تبدیل کنند. استفاده از مشوق‌های اقتصادی و سامانه‌های اطلاع‌رسانی می‌تواند این تغییر رفتاری را تسهیل کند.

۵ .تحلیل ضرورت مدیریت مرحله‌ای هوشمندسازی

یکی از نکات مهم در طراحی الگوی پیشنهادی، پرهیز از اجرای هم‌زمان و گسترده تمام فناوری‌هاست. سرمایه‌گذاری بدون شناخت نیازهای واقعی شهر ممکن است موجب افزایش هزینه‌ها و ایجاد زیرساخت‌هایی شود که استفاده مؤثری از آن‌ها صورت نمی‌گیرد.

ازاین‌رو، اجرای مرحله‌ای و ارزیابی مستمر باید مبنای توسعه مدیریت هوشمند قرار گیرد. ابتدا لازم است مشکلات اصلی شناسایی شوند، سپس فناوری متناسب با هر مشکل انتخاب شود و پس از ارزیابی نتایج، توسعه آن به سایر مناطق صورت گیرد.

پیامدهای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی الگوی پیشنهادی

۱ .پیامدهای اقتصادی

مهم‌ترین پیامد اقتصادی مدیریت هوشمند، کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش بازده سرمایه‌گذاری در بخش خدمات شهری است. بهینه‌سازی مسیرها، کاهش مصرف سوخت، مدیریت بهتر نیروی انسانی و کاهش هزینه‌های دفع از جمله نتایج مورد انتظار این الگو هستند.

همچنین، افزایش کیفیت مواد بازیافتی می‌تواند درآمد حاصل از فروش آن‌ها را افزایش دهد. در نتیجه، بخشی از هزینه‌های مدیریت پسماند از طریق بازیابی ارزش اقتصادی مواد جبران خواهد شد.

۲ .پیامدهای زیست‌محیطی

کاهش دفن پسماند، افزایش بازیافت، مدیریت صحیح پسماندهای آلی و کاهش پیمایش غیرضروری خودروها از مهم‌ترین آثار زیست‌محیطی الگوی پیشنهادی هستند.

این اقدامات می‌توانند به کاهش انتشار آلاینده‌ها، حفاظت از منابع طبیعی، کاهش آلودگی خاک و آب و استفاده منطقی‌تر از زمین کمک کنند.

۳ .پیامدهای اجتماعی

مدیریت هوشمند می‌تواند از طریق افزایش کیفیت خدمات، کاهش سرریز مخازن، بهبود نظافت معابر و توسعه مشارکت عمومی، رضایت شهروندان را افزایش دهد.

همچنین، توسعه فعالیت‌های تفکیک و بازیافت می‌تواند فرصت‌های شغلی جدیدی در حوزه جمع‌آوری تخصصی، پردازش مواد و خدمات فناورانه ایجاد کند.

چالش‌ها و محدودیت‌های اجرای مدیریت هوشمند

۱ .هزینه اولیه سرمایه‌گذاری

خرید تجهیزات، نصب حسگرها، توسعه نرم‌افزارها و ایجاد زیرساخت ارتباطی به منابع مالی قابل‌توجهی نیاز دارد. این مسئله برای شهرداری‌های کوچک و متوسط می‌تواند مانع مهمی باشد.

۲ .ضعف زیرساخت‌های اطلاعاتی

نبود بانک اطلاعاتی دقیق، پراکندگی سامانه‌ها و ضعف ارتباط میان واحدهای اجرایی، ممکن است موجب کاهش کارایی فناوری‌های هوشمند شود.

۳ .کمبود نیروی انسانی متخصص

مدیریت سامانه‌های دیجیتال و تحلیل اطلاعات به نیروهای آموزش‌دیده نیاز دارد. در صورت نبود دانش فنی کافی، تجهیزات خریداری‌شده ممکن است به‌درستی مورد استفاده قرار نگیرند.

۴ .مقاومت سازمانی در برابر تغییر

تغییر روش‌های سنتی فعالیت و حرکت به سمت تصمیم‌گیری مبتنی بر داده ممکن است با مقاومت برخی کارکنان و مدیران مواجه شود. آموزش، مشارکت کارکنان و حمایت مدیریتی برای کاهش این مقاومت ضروری است.

۵ .ضعف مشارکت شهروندان

عدم آگاهی کافی درباره تفکیک پسماند، نبود انگیزه اقتصادی و بی‌اعتمادی نسبت به اثربخشی برنامه‌های شهرداری می‌تواند مشارکت عمومی را محدود کند.

۶ .امنیت اطلاعات و وابستگی فناورانه

افزایش استفاده از تجهیزات متصل به شبکه، ضرورت حفاظت از اطلاعات و امنیت سامانه‌ها را افزایش می‌دهد. همچنین، وابستگی به تجهیزات وارداتی و محدودیت دسترسی به قطعات یدکی می‌تواند هزینه نگهداری را بالا ببرد.

نتیجه‌گیری

مدیریت پسماند شهری در شرایط کنونی نیازمند عبور از الگوهای سنتی و حرکت به سمت نظام‌های یکپارچه، هوشمند و مبتنی بر داده است. افزایش حجم تولید پسماند، محدودیت منابع مالی شهرداری‌ها و ضرورت حفاظت از محیط‌زیست، نشان می‌دهد که ادامه روش‌های متعارف نمی‌تواند پاسخگوی نیازهای آینده شهرها باشد.

تحلیل انجام‌شده در این مقاله نشان می‌دهد که فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و تحلیل کلان‌داده‌ها ظرفیت قابل‌توجهی برای بهبود عملکرد مدیریت پسماند دارند. این فناوری‌ها از طریق پایش وضعیت مخازن، پیش‌بینی میزان تولید زباله، بهینه‌سازی مسیرهای جمع‌آوری و ارتقای فرایندهای تفکیک و بازیافت، می‌توانند هزینه‌های عملیاتی را کاهش داده و بهره‌وری منابع را افزایش دهند.

بااین‌حال، نتیجه اصلی مقاله آن است که هوشمندسازی نباید به‌عنوان اقدامی صرفاً فناورانه در نظر گرفته شود. موفقیت این رویکرد مستلزم هماهنگی میان زیرساخت‌های دیجیتال، مدیریت اقتصادی، اصلاح فرایندهای سازمانی، مشارکت شهروندان و نظارت مستمر است. در واقع، فناوری زمانی ارزشمند خواهد بود که بتواند به حل مسائل واقعی شهرداری‌ها کمک کند و نتایج اقتصادی و زیست‌محیطی قابل‌اندازه‌گیری ایجاد نماید.

الگوی پیشنهادی مقاله با تأکید بر پنج محور زیرساخت اطلاعاتی، مدیریت یکپارچه عملیات، کنترل هزینه‌ها، مشارکت شهروندان و ارزیابی عملکرد، تلاش می‌کند ارتباط میان این عوامل را در قالب یک چارچوب مدیریتی منسجم برقرار کند. اجرای این الگو می‌تواند به کاهش مراجعات غیرضروری خودروها، مصرف سوخت، هزینه‌های پردازش و دفع، افزایش بازیابی مواد ارزشمند و ارتقای کیفیت خدمات شهری کمک کند.

در نهایت، می‌توان گفت مدیریت هوشمند پسماند زمانی به ابزاری مؤثر برای توسعه پایدار تبدیل می‌شود که شهرداری‌ها به‌جای تمرکز صرف بر خرید تجهیزات جدید، بر اصلاح نظام تصمیم‌گیری، مدیریت چرخه عمر منابع و ایجاد ارزش اقتصادی و اجتماعی از پسماند تأکید کنند. چنین تغییری می‌تواند زمینه حرکت به سمت شهرهایی کم‌هزینه‌تر، پاک‌تر و برخوردار از نظام مدیریت شهری کارآمدتر را فراهم سازد.

پیشنهادهای کاربردی

۱. شهرداری‌ها پیش از اجرای طرح‌های هوشمندسازی، وضعیت موجود تولید، جمع‌آوری، انتقال و دفع پسماند را ارزیابی و نقاط اصلی اتلاف منابع را شناسایی کنند.

۲. اجرای آزمایشی مخازن هوشمند و سامانه‌های مسیریابی در مناطق پرتولید و پرهزینه در اولویت قرار گیرد.

۳. سامانه اطلاعاتی یکپارچه‌ای برای ارتباط میان واحدهای خدمات شهری، مراکز پردازش، پیمانکاران و مدیریت مالی ایجاد شود.

۴. قراردادهای پیمانکاری بر اساس شاخص‌های عملکردی، کیفیت خدمات و میزان بهره‌وری تنظیم شوند.

۵. برنامه‌های تشویقی برای افزایش تفکیک پسماند از مبدأ و مشارکت خانوارها توسعه یابد.

۶. سرمایه‌گذاری در فناوری‌های هوشمند بر اساس ارزیابی هزینه چرخه عمر و منافع اقتصادی بلندمدت انجام شود.

۷. همکاری شهرداری‌ها با شرکت‌های دانش‌بنیان و مراکز علمی برای توسعه فناوری‌های بومی مدیریت پسماند گسترش یابد.

۸. شاخص‌های اقتصادی و زیست‌محیطی به‌صورت مستمر ارزیابی شوند تا میزان اثربخشی طرح‌های هوشمندسازی مشخص شود.

منابع

Anagnostopoulos, T., Zaslavsky, A., Kolomvatsos, K., Medvedev, A., Amirian, P., Morley, J., & Hadjiefthymiades, S. (2017). Challenges and opportunities of waste management in IoT-enabled smart cities: A survey. IEEE Transactions on Sustainable Computing, 2(3), 275–289. DOI: 10.1109/TSUSC.2017.2691049.

Dawar, I., Srivastava, A., Singal, M., Dhyani, N., & Rastogi, S. (2025). A systematic literature review on municipal solid waste management using machine learning and deep learning. Artificial Intelligence Review, 58, Article 183. DOI: 10.1007/s10462-025-11196-9.

Fang, B., Yu, J., Chen, Z., Osman, A. I., Farghali, M., Ihara, I., Hamza, E. H., Rooney, D. W., & Yap, P. S. (2023). Artificial intelligence for waste management in smart cities: A review. Environmental Chemistry Letters, 21, 1959–1989. DOI: 10.1007/s10311-023-01604-3.

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy – A new sustainability paradigm? Journal of Cleaner Production, 143, 757–768. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048.

Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050. World Bank. DOI: 10.1596/978-1-4648-1329-0.

Olawade, D. B., Fapohunda, O., Wada, O. Z., Usman, S. O., Ige, A. O., Ajisafe, O., & Oladapo, B. I. (2024). Smart waste management: A paradigm shift enabled by artificial intelligence. Waste Management Bulletin, 2(2), 244–263. DOI: 10.1016/j.wmb.2024.05.001.

Santos Neto, A. B. P., Simões, C. L., & Simoes, R. (2024). Optimization of municipal solid waste collection system: Systematic review with bibliometric literature analysis. Journal of Material Cycles and Waste Management, 26, 1906–1917. DOI: 10.1007/s10163-024-01966-y.

United Nations. (2015). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. United Nations General Assembly.

Zoumpoulis, P., Konstantinidis, F. K., Tsimiklis, G., & Amditis, A. (2024). Smart bins for enhanced resource recovery and sustainable urban waste practices in smart cities: A systematic literature review. Cities, 152, Article 105150. DOI: 10.1016/j.cities.2024.105150.